

# **Diseño de una patrullera de altura para servicios costeros de la Armada**

## **Trabajo Final de Grado**



Facultad de Náutica de Barcelona

Universidad Politécnica de Cataluña

Trabajo realizado por:

**Juan de la Puente Parras**

Dirigido por:

**Sergio Iván Velásquez Correa**

Grado en Sistemas y Tecnología Naval (GSTN)

Barcelona, Mayo 2019

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona





“Los barcos están más seguros en el puerto,  
pero se han construido para navegar.”





## Agradecimientos

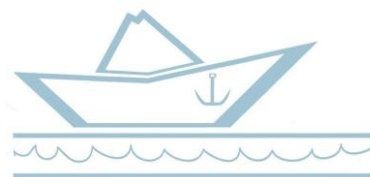
Quisiera aprovechar este espacio para dar gracias a todos los que me ayudaron a hacer realidad un sueño, en especial a mi madre y a mi padre, lo logramos.

También agradecer a mi hermano y hermanas las constantes interrupciones durante el día a día de la realización del proyecto, un obstáculo más en el camino.

A Marta, por tu apoyo constante, ayuda e inflexibilidad.

Gracias también al excelentísimo don Luis de la Puente. No fueron suficientes las prisas al inicio del proyecto, pero la compensación final es realmente interesante.

Finalmente, a mi tutor del proyecto, Sergio, gracias por el tiempo dedicado y la flexibilidad para las tutorías fuera de horario. Y a la facultad, por enseñarme a lo largo de estos 4 años como diseñar un barco, partiendo de mis conocimientos previos: un barco de papel.





## Resumen

Nuestro país es uno de los principales productores de fragatas a nivel mundial. Con el astillero Navantia y su tecnología de vanguardia como buque insignia, en los últimos meses ha negociado la construcción y entrega de cinco modernas corbetas misileras inspiradas en el diseño Avante 2200. El contrato multimillonario firmado beneficiara la industria asentada en la Bahía de Cádiz y de España en general.

El objetivo de este Trabajo de Final de Grado consiste en idear y proyectar este tipo de buque, enfocando el diseño a la creación de una patrullera de similares características. Para conseguir tal objetivo, el proyecto se divide en tres secciones muy diferenciadas. En el primer bloque se realiza un estudio acerca de este tipo de embarcaciones y del sector en el que se envuelven. En el segundo, se dimensiona la embarcación, estudiando aspectos concretos como son las formas del casco y el sistema propulsivo, con el cálculo de valores hidrostáticos, resistencia al avance y potencia necesaria. Finalmente se realiza el diseño y dimensionamiento de la disposición general del patrullero.

Debido a que este trabajo pretende situarse en las fases prematuras del proyecto, todos los resultados obtenidos, son aproximaciones para determinar la posible viabilidad del mismo, y de esta manera poder competir con otros proyectos de diferentes astilleros para que finalmente pueda ser elegida la opción más conveniente. Es por esto que, según se avance en la espiral del proyecto, los resultados son totalmente susceptibles de sufrir posteriores modificaciones.



## Abstract

Our country is one of the main producers of frigates worldwide. With the Navantia shipyard and its cutting-edge technology as a flagship, in recent months it has negotiated and signed a contract for the construction and delivery of five modern missile corvettes inspired by the Avante 2200 design. The multimillion-dollar contract will benefit the industry in the Bay of Cadiz and Spain in general.

The objective of this Final Thesis is to design and project this type of vessel, focusing on the engineering of a patrol boat with similar characteristics. To achieve this goal, the project is divided into three very different sections. First, the paper will discuss this type of boat and the sector in which they are produced. Second, the dimensions of the boat are defined and some specific aspects are studied, such as the hull forms and the propulsive system, and additional aspects are explained such as the calculation of hydrostatic values, resistance to the advance, and necessary power. Finally, the design and dimension of the general disposition of the patrol vessel are carried out.

Due to the fact that the aim of this study is to place the frigate in its early design phase, all the results obtained are just approximations that can be useful for determining the possible viability of this project, to know if it can compete with other projects made in different shipyards, and if it could be a good option to choose. Note that during the development of this thesis the results can be modified.

# Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
LISTADO DE FIGURAS	XII
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1. EL PRODUCTO	2
1.1. FLOTA DE SUPERFICIE	2
1.2. ARMA SUBMARINA	8
1.3. SISTEMAS DEL PRODUCTO	8
<b>CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO</b>	<b>10</b>
1. FASES DEL DISEÑO	10
2. LA SOCIEDAD DE CLASIFICACIÓN: LLOYD'S REGISTER NAVAL RULES	13
<b>CAPÍTULO 3. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE LA EMBARCACIÓN</b>	<b>17</b>
1. DEFINICIÓN DEL TIPO DE BUQUE	17
2. DIMENSIONAMIENTO	18
2.1. BASE DE DATOS	18
3. ESTUDIO DEL DIMENSIONAMIENTO Y DIFERENTES PARÁMETROS	21
3.1. LA ESLORA	21
3.2. LA MANGA	22
3.3. EL CALADO, EL PUNTAL Y EL FRANCOBORDO	24
3.4. COEFICIENTES DE FORMA DE LA CARENA	25
3.5. FORMAS DE LA CARENA Y CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA	29
4. ESTUDIO ESTADÍSTICO	31
4.1. ESLORA DEL BUQUE	31
4.1.1. ESLORA TOTAL (LOA)	31
4.1.2. ESLORA DE FLOTACIÓN ( $L_{WL}$ )	31
4.2. DESPLAZAMIENTO ( $\Delta$ )	32
4.3. MANGA ( $B$ )	33
4.4. Calado ( $T$ )	34
4.5. Velocidad ( $V_{m\acute{a}x}$ )	35



4.6 DATOS FINALES DEL DIMENSIONAMIENTO	36
<b>CAPÍTULO 4. PESOS Y VOLÚMENES</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LAS FORMAS EL CASCO</b>	<b>39</b>
1. DATOS HIDROSTÁTICOS PRELIMINARES	43
2. VALIDACIÓN Y EXPORTACION	46
<b>CAPÍTULO 6. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA</b>	<b>47</b>
1. FUNDAMENTOS PARA LOS CÁLCULOS DE RESISTENCIA AL AVANCE	47
2. MAXSURF RESISTANCE	48
2.1. DATOS DE REFERENCIA	48
2.2. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA	49
<b>CAPÍTULO 7. INSTALACIÓN PROPULSORA</b>	<b>53</b>
1. SISTEMA PROPULSIVOS COMBINADOS	55
1.1. CODAG	55
1.2. CODOG	56
2. DISPOSICIÓN PLANTA PROPULSORA	57
2.1. DIÉSEL GENERADORES	57
2.2. ENGRANAJE REDUCTOR	58
2.3. LÍNEAS DE EJES	59
3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES	60
3.1. SISTEMAS DE AIRE DE COMBUSTIÓN	60
3.2. SISTEMAS DE CIRCULACIÓN Y REFRIGERACIÓN DE AGUA SALADA	60
3.3. SISTEMAS DE EXHAUSTACIÓN	61
3.4. SISTEMAS DE COMBUSTIBLE	61
3.5. SISTEMAS DE LUBRICACIÓN DE LA PROPULSIÓN PRINCIPAL	61
3.6. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN AUXILIAR DE AGUA DULCE	62
4. POTENCIAS DE LOS PROPULSORES	63
4.1. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA MAXIMA GENERADA	64
4.1.1. POTENCIA ENTREGADA A LAS HÉLICES (PHP)	64
4.1.2. POTENCIA ENTREGADA AL EJE (SHP)	65
4.1.3. POTENCIA AL FRENO (BHP)	65
4.1.4. MARGEN DE MANTENIMIENTO Y MARGEN DE MAR	66
4.2. TURBINA DE GAS EN DIFERENTES TIPOS DE BUQUES	66
4.2.1. DISEÑO DE LAS TURBINAS	66
4.3. SELECCIÓN DE LA TURBINA	67
4.3. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA ECONOMICA	68
4.3.1. POTENCIA ENTREGADA A LAS HÉLICES (PHP)	69



4.3.2. POTENCIA ENTREGADA AL EJE (SHP)	69
4.3.3. POTENCIA AL FRENO (BHP)	69
4.3.4. MARGEN DE MANTENIMIENTO Y MARGEN DE MAR	69
4.4. SELECCIÓN DE LOS MOTORES DIÉSEL	70
<b>CAPÍTULO 8. DISEÑO DEL CODASTE</b>	<b>73</b>
1. DISTANCIAS PREVIAS	73
1.1. Altura de la línea de ejes:	73
1.2. Número de palas	73
1.3. HUELGOS DEL CODASTE	75
2. DISEÑO DE LA HELICE	76
2.1. TIPO DE HELICE	76
2.2. MATERIALES PARA LAS HELICES	77
2.2.1. CES EDUPACK	78
3. HÉLICE EMPUJADORA DE PROA	80
3.1. Empuje necesario	80
3.2. Potencia necesaria	82
3.3. Elección de la hélice de proa	83
<b>CAPÍTULO 9. MULTI-MISIÓN</b>	<b>84</b>
1. AYUDA HUMANITARIA	84
2. LUCHA CONTRA LA PIRATERÍA Y NARCOTRÁFICO	85
3. SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE (FAS)	87
<b>CAPÍTULO 10. AMARRE Y FONDEO</b>	<b>88</b>
1. AMARRE Y FONDEO DE NUESTRO PATRULLERO	90
<b>CAPÍTULO 11. SISTEMAS DE OPERATIVA</b>	<b>93</b>
1. SISTEMAS DE NAVANTIA	93
1.1. SISTEMA DE VIGILANCIA DE AGUAS PRÓXIMAS (SVAP)	93
1.2. DIRECCIÓN DE TIRO DORNA	93
1.3. SISTEMA DE GESTIÓN DE COMBATE SCOMBA	93
1.4. NAVCOMS.	93
1.5. SISTEMA DE MANDO Y CONTROL CDS	94
1.6. CONTROL DE SUBSISTEMAS NO TÁCTICOS SICP	94
2. SISTEMAS DE ARMAMENTO Y DEFENSA	94
2.1. CAÑÓN DE PROA DS30M	95
2.2. DEFENSA EN POPA	95
2.3. SISTEMA DE LANZAMIENTO DECOY	96
2.4. ANTENAS Y RADARES	97



2.4.1. THALES ALTESSE ESM	97
2.4.2. THALES SMAR-S MK2	98
2.4.3. THALES SCOUT MK2 LPI	98
2.4.4. INMARSAT:	99
2.4.5. THALES STING 1.2	99
2.4.6. THALES VIGILE 100 ESM	99
2.4.7. THALES MIRADOR EOTS	100
2.4.8. RADAR AN/SPS-55	100
<b>CAPÍTULO 12. MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>101</b>
<b>CAPÍTULO 13. ARREGLO GENERAL</b>	<b>103</b>
1. ESTRUCTURA	103
1.1. MAMPAROS PRINCIPALES ESTANCOS	103
1.2. DISEÑO DE LOS MAMPAROS	103
2. CAPACIDADES DE LOS TANQUES	104
2.1. TANQUES DE COMBUSTIBLE	104
2.1.1. CONSUMOS DE COMBUSTIBLE	104
2.1.2. DIMENSIONAMIENTO TANQUES DE COMBUSTIBLE	106
2.2. TANQUES AGUA DULCE	109
3. PLANO DE ARREGLO GENERAL	109
<b>CAPÍTULO 14. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>113</b>
<b>CAPÍTULO 15. CONCLUSIONES</b>	<b>121</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>123</b>
LIBROS	123
REVISTAS	123
PÁGINAS WEB	123
<b>ANEXOS</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO 1. REQUEST FOR INFORMATION (RFI)</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO 2. LAS TURBINAS DE GAS</b>	<b>131</b>
A1. INTRODUCCIÓN	131
A2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.	132
A3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA TURBINA DE GAS.	133
A4. PARTES PRINCIPALES DE LA TURBINA DE GAS.	136
A4.1 Admisión de aire	137
A4.2 Compresor de aire	137
A4.3 Cámara de combustión	138





<i>A4.4 Turbina de expansión</i>	<i>138</i>
<b>ANEXO 3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO CODAG Y CODOG</b>	<b>139</b>
A1. CODAG	139
A2. CODOG	142
<b>ANEXO 4. MOTORES MAN</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO 5. COMPARATIVA DE ARTILLERÍA NAVAL TIPO CIWS</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO 6. PATRULLERO VP-50</b>	<b>149</b>
<b>ANEXO 7. FRAGATA F-100 Y F-110</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO 8. VISITA AL SUBMARINO USS BECUNA Y USS OLYMPIA (EE.UU.)</b>	<b>155</b>
A1. SUBMARINO USS BECUNA	155
A2. EL CRUCERO PROTEGIDO USS OLYMPIA (C-6)	158
<b>ANEXO 9. VISITA AL PORTAVIONES USS INTREPID (EE.UU.)</b>	<b>161</b>
<b>ANEXO 10. VISITA AL PATRULLERO INFANTA CRISTINA (P-77)</b>	<b>166</b>
<b>ANEXO 11. VISITA FRAGATA NAVARRA</b>	<b>171</b>



## Listado de Figuras

FIGURA 1. CRUCERO ALMIRANTE NAJÍMOV.	3
FIGURA 2. COMPARATIVA ENTRE FRAGATA TYPE 054A Y CORBETA TYPE 056.	4
FIGURA 3. CAZAMINAS M-35.	5
FIGURA 4. EMBARQUE DE DOS <i>LANDING CRAFTS</i> EN HNLMS JOHAN DE WITT (L-801).	6
FIGURA 5. CONCEPTO DE OPERACIONES MILITARES.	7
FIGURA 6. GRUPO <i>CARRIER STRIKE</i> NAVEGANDO EN FORMACIÓN EN EL OCÉANO ATLÁNTICO.	9
FIGURA 7. ESPIRAL DE DISEÑO.	12
FIGURA 8. ORGANIZACIÓN DE LAS REGLAS LR.	15
FIGURA 9. OFFSHORE PATROL VESSEL 1800 SEA AXE.	17
FIGURA 10. AVANTE 2200.	20
FIGURA 11. ALGUNAS DIMENSIONES CRÍTICAS EN LA CUBIERTA SUPERIOR DE UNA FRAGATA.	21
FIGURA 12. VALORES ÓPTIMOS DE $C_p$ EN FUNCIÓN DE FN.	26
FIGURA 13. OBTENCIÓN DE VALORES DE $C_p$ EN FUNCIÓN DE FN.	27
FIGURA 15. RELACIÓN ESLORA – DESPLAZAMIENTO. FUENTE: PROPIA.	33
FIGURA 16. RELACIÓN DESPLAZAMIENTO – MANGA. FUENTE: PROPIA.	34
FIGURA 17. RELACIÓN MANGA – CALADO. FUENTE: PROPIA.	34
FIGURA 18. RELACIÓN ESLORA – VELOCIDAD. FUENTE: PROPIA.	35
FIGURA 19. VISTAS DEL MODELO CREADO MEDIANTE SUPERFICIES. FUENTE: PROPIA (RHINOCEROS).	39
FIGURA 20. TRANSFORMACIÓN PARAMÉTRICA DEL MODELO.	41
FIGURA 21. DISEÑO CON REDUCCIÓN FIRMA POR RADAR. FUENTE: <i>DAMEN SHIPYARDS GROUP</i> .	42
FIGURA 22. TRANSFORMACIÓN PARAMÉTRICA FINAL DEL BUQUE. FUENTE: PROPIA ( <i>MAXSURF MODELER</i> ).	43
FIGURA 23. CURVA DE ÁREAS. FUENTE: PROPIA ( <i>MAXSURF MODELER</i> ).	45
FIGURA 24. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE PROPULSIÓN. FUENTE: PROPIA ( <i>MAXSURF RESISTANCE</i> ).	49
FIGURA 25. CURVA RESISTENCIA-VELOCIDAD. FUENTE: PROPIA ( <i>MAXSURF RESISTANCE</i> ).	51



FIGURA 26. CURVA POTENCIA-VELOCIDAD.	51
FIGURA 27. PERFIL OPERACIONAL DE UN OPV. FUENTE: PRÓPIA.	53
FIGURA 28. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA MOTRIZ CODAG	54
FIGURA 29. SISTEMA CODAG.	56
FIGURA 30. SISTEMA CODOG.	56
FIGURA 31. DISPOSICIÓN CODAG/CODOG.	57
FIGURA 32. FICHA TÉCNICA MTU 396 SERIES.	58
FIGURA 33. REDUCTOR CODOG.	59
FIGURA 34. POTENCIAS EN LAS DIFERENTES PARTES DE LA UNIDAD PROPULSIVA.	64
FIGURA 35. TURBINA GE LM2500.	68
FIGURA 36. DIMENSIONES DEL MOTOR MAN D2862 LE 436.	71
FIGURA 37. RENDIMIENTO Y CONSUMOS MAN D2862 LE436.	72
FIGURA 38. HUELGOS Y ESPACIADO DE LAS HÉLICES RESPECTO AL CASCO.	74
FIGURA 39. ZONA DEL CODASTE DE NUESTRO PRATULLERO, CON SU EJE, HÉLICE Y TIMÓN.	76
FIGURA 40. PRECIO DE MATERIALES EN FUNCIÓN DEL MODULO DE ROTURA.	79
FIGURA 41. CONSTANTE DE EMPUJADORES DE PROA EN FUNCIÓN DE LA ESLORA Y TIPO DE BUQUE.	81
FIGURA 42. CONJUNTO EMPUJADOR DE PROA.	82
FIGURA 43. DISPOSICIÓN DE LOS CONTENEDORES EN LA CUBIERTA DE VUELO. FUENTE: PROPIA.	85
FIGURA 44. GRÚA DE SUMINISTRADA POR <i>ROLLS-ROYCE</i> PARA LOS RHIBS.	86
FIGURA 45. BUQUE CANTABRIA SUMINISTRANDO COMBUSTIBLE A LA FRAGATA ÁLVARO DE BAZÁN.	87
FIGURA 46. DIFERENTES FORMAS DE TRABAJO DE LAS AMARRAS.	88
FIGURA 47. CHIGRE DE EJE VERTICAL. FUENTE: <i>YMV CRANE AND WINCH SYSTEMS</i> .	89
FIGURA 48. EQUIPO DE FONDEO DE EJE VERTICAL EN BUQUE DE GUERRA.	89
FIGURA 49. DISPOSICIÓN DEL EQUIPO DE FONDEO.	89
FIGURA 50. SISTEMA DS30M. FUENTE: <i>SEA FORCES</i> .	95
FIGURA 51. CARACTERÍSTICAS CIWS. FUENTE: <i>US NAVY</i> .	96
FIGURA 52. LANZADORES DE 12 TUBOS TERMA SKWS.	97
FIGURA 53. <i>THALES ALTESSE-H</i> .	98



FIGURA 54. THALES SMAR-S MK2.	98
FIGURA 55. THALES STING.	99
FIGURA 56. THALES VIGILE 100 ESM.	99
FIGURA 57. THALES MIRADOR EOTS.	100
FIGURA 58. RADAR AN/SPS-55.	100
FIGURA 59. PERFIL TIPO TDE ACERO INOXIDABLE. <i>TAHL</i>	102
FIGURA 60. ESQUEMA DEL PUENTE DE GOBIERNO.	113
FIGURA 61. VISTAS EN PERSPECTIVA DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DEL BUQUE. FUENTE: PROPIA.	117
FIGURA 62. VISTA FRONTAL DE LA PROA Y POPA DEL PATRULLERO.	118
FIGURA 63. VISTA LONGITUDINAL DEL COSTADO Y PLANTA DEL PATRULLERO.	118
FIGURA 64. RENDERIZADO DEL PATRULLERO EN NAVEGACIÓN.	119
FIGURA A1. FLUJOS EN UNA TURBINA DE GAS.	132
FIGURA A2. EOLIPILA DE HERON.	133
FIGURA A3. TURBINA DISEÑADA POR STOLZ EN 1872.	134
FIGURA A4. PRIMERA TURBINA DE GAS INDUSTRIAL PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA, 1939.	134
SU POTENCIA ERA DE 4 MW. CORTESÍA DE ASEA BROWN BOVERI AG.	134
FIGURA A5. HE 178 DE HEINKEL.	135
FIGURA A6. INTERIOR DEL COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN DE UNA TURBINA INDUSTRIA	136
FIGURA A7. PARTES PRINCIPALES TURBINA DE GAS.	136
FIGURA A8. DIAGRAMA P-V DEL CICLO BRAYTON.	137
FIGURA A9. CODAG - MODO EMERGENCIA.	140
FIGURA A10. CODAG - MODO UN DIÉSEL Y DOS EJES	140
FIGURA A11. CODAG - MODO CRUCERO.	141
FIGURA A12. CODAG - MODO TURBINA DE GAS.	141
FIGURA A13. CODAG.	142
FIGURA A14. CODOG - MODO EMERGENCIA.	143
FIGURA A15. CODOG - MODO UN DIÉSEL/DOS EJES.	143
FIGURA A16. CODOG - MODO CRUCERO.	144



FIGURA A17. CODOG - MODO TURBINA DE GAS.	144
FIGURA A18. MOTORES MARINOS MAN SELECCIONADO.	145
TABLA A1. MOTORES MARINOS OFERTADOS POR MAN.	146
FIGURA A19. PLANOS DEL PATRULLERO VP-50	149
FIGURA A20. FRAGATA F-100 CON DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES Y ARMAMENTO.	151
FIGURA A21. PLANOS DE LAS DIFERENTES CUBIERTAS DE LAS FRAGATAS F-100.	153
FIGURA A22. MODELO TRIDIMENSIONAL DEL PROTOTIPO DE FRAGATA F-110.	154
FIGURA A23. SALA DE TORPEDOS DEL USS BECUNA.	156
FIGURA A24. SALA DE MAQUINAS DEL USS BECUNA.	156
FIGURA A25. PUENTE DE GOBIERNO DEL USS BECUNA	157
FIGURA A26. CUBIERTA DEL SUBMARINO USS BECUNA.	157
FIGURA A27. USS OLYMPIA. FUENTE: INDEPENDENCE SEAPORT MUSEUM.	158
FIGURA A28. ALERÓN DEL BUQUE USS OLYMPIA JUNTO AL SUBMARINO USS BECUNA.	159
FIGURA A29. MEMORIAL AL SUBMARINO USS TRIGGER (SS-237) CAÍDO EN LA II GUERRA MUNDIAL	160
FIGURA A30. VISTA FRONTAL DEL USS INTREPID	161
FIGURA A31. PUENTE DE GOBIERNO DEL USS INTREPID	161
FIGURA A32. CUBIERTA DE ATERRIZAJE Y DESPEGUE DEL USS INTREPID	162
FIGURA A33. HANGAR DE TORPEDOS A BORDO DEL USS GROWLER. FUENTE: PROPIA.	162
FIGURA A34. CUBIERTA DEL SUBMARINO USS GROWLER. FUENTE: PROPIA.	163
FIGURA A35. MISIL DE CRUCERO REGULUS SOBRE LA CUBIERTA DEL SUBMARINO USS GROWLER.	163
FIGURA A36. SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE DEL USS INTREPID.	164
FIGURA A37. PLANO DE VISTA LONGITUDINAL DEL PORTAVIONES USS INTREPID	165
FIGURA A38. DIFERENTES PERSPECTIVAS DEL PATRULLERO.	167
FIGURA A39. EQUIPAMIENTO EMPLEADO POR INFANTERÍA DE MARINA A BORDO DEL PATRULLERO.	168
FIGURA A40. VISTA DEL CAÑÓN DE PROA <i>OTO MELARA</i> Y EQUIPO DE AMARRE. FUENTE: PROPIA.	169
FIGURA A41. MÓDULO DIÉSEL GENERADOR DEL PATRULLERO INFANTA CRISTINA. FUENTE: PROPIA.	169
FIGURA A42. POPA DE LA FRAGATA NAVARRA (F-85). FUENTE: PROPIA.	171





# Capítulo 1. Introducción

Las características principales que permitirán determinar el desplazamiento de un buque de guerra y que, por tanto, el mismo debe reunir, son las siguientes:

- Armamento: se requiere del máximo campo de tiro posible y una artillería aislada entre sí.
- Protección: agrupación del armamento y limitar la eslora para reducir el peso de la coraza y el blanco que presenta al enemigo.
- Velocidad: formas alargadas.
- Autonomía: radio de acción, que es la máxima distancia que el buque puede navegar a velocidad económica. Para ello es importante la máquina y el combustible que empleará.

En este sentido, los buques de guerra deben poseer capacidad ofensiva, capacidad defensiva y movilidad. Antiguamente, estas capacidades se obtenían gracias a la cantidad y calibre de sus cañones.

En el siglo XXI, los portaaviones y su aviación embarcada son el sistema de armas más importante de las grandes marinas de guerra. Estas tremendas naves nunca operan solas, pues son el núcleo de un grupo de batalla compuesto por cruceros, destructores, fragatas y submarinos que custodian al portaaviones.

La Segunda Guerra Mundial es el momento histórico que establece un antes y después en la industria militar, pues es tras ese suceso que se ha ido desarrollando.

A partir de entonces, se reemplazó el cañón y los torpedos por avanzados misiles teledirigidos, superficie-superficie y superficie-aire y se incorporó helicópteros con misiles aire-superficie; y la capacidad defensiva, que anteriormente estaba dada por el espesor de las corazas, fue siendo traspasada a la capacidad de detección de los misiles atacantes y la destrucción de estos en el aire.

Además, considerando la importancia que recibe la velocidad de los buques de guerra, a comienzos del siglo XXI, los misiles de superficie y los antiaéreos alcanzan los 120 km y 40 km respectivamente; las naves empiezan a poseer turbinas a gas muy eficientes, alcanzando velocidades de hasta 30 nudos; y, también, existen naves con propulsión nuclear, especialmente submarinos y portaaviones.



## 1. EL PRODUCTO

Los productos de esta industria militar son los buques que las Marinas precisan para formar sus flotas, entendiendo por ellas el conjunto de la fuerza que desarrolla la guerra desde el mar. Según el tipo de buques que la conforman hay que distinguir entre la flota de superficie y el arma submarina.

### 1.1. FLOTA DE SUPERFICIE

En primer lugar, la flota de superficie la constituyen tanto buques de combate como buques de apoyo al mismo. En la actualidad se consideran buques combatientes: los portaviones, cruceros, destructores, fragatas, corbetas, patrulleros, buques de guerra de minas y de guerra anfibia.

#### a) **Portaaviones**<sup>1</sup>:

Los portaaviones son elementos de la flota de superficie que operan junto con aeronaves de combate y que son imprescindibles para proyectar el poder aeronaval a través del océano. Asimismo, proporcionan presencia activa y una gran capacidad de persuasión. Dan cobertura a ataques aéreos a objetivos enemigos, dan protección a las fuerzas propias y participan en operaciones sostenidas.

Existen tres tipos de portaviones operativos en las diferentes marinas:

- CTOL (*Conventional Take Off and Landing aircraft Carriers*).
- STOVL (*Short Take Off and Vertical Landing aircraft Carriers*
- STOBAR (*Short Take Off But Arrested Recovery Aircraft Carriers*).

#### b) **Cruceros**:

Son tras los portaaviones, los buques de combate de mayor porte en la actualidad, con desplazamiento por encima de las 10.000 t. Pueden realizar acciones de apoyo de la fuerza y son capaces de actuar en misiones independientes.

---

<sup>1</sup> Ver Anexo 9. VISITA AL PORTAVIONES USS INTREPID (EE.UU.).



Tienen capacidad de respuesta ante amenazas aéreas, de superficie o submarinas, pudiendo enfrentarse a numerosos blancos de forma simultánea. Su artillería es capaz de dar apoyo artillero en misiones anfibas.

Estos están equipados con el sistema *Advance Gun System* (AGS) que permite batir con gran potencia y precisión objetivos costeros o de interior a distancias superiores a 100 millas. Además, utilizan el apoyo de helicópteros no tripulados en sus distintas misiones.

### c) Destrucciones:

Con desplazamientos entre 5.000 y 10.000 t, son buques rápidos capaces de hacer frente a misiones tanto ofensivas como defensivas, formando parte de un grupo o en solitario.

Realizan operaciones de guerra antisubmarina, antiaérea y anti-superficie. Ayudan a proteger a los buques de mayor porte, dando escolta a portaaviones, buques anfibs y de aprovisionamiento. También pueden dar apoyo a las fuerzas de desembarco con su artillería de medio calibre.

Algunas marinas, como España con la clase F-100 o Alemania con la F-124, han construido buques que denominan fragatas, pero por su tamaño y capacidades podrían encuadrarse como destructores.



Figura 1. Crucero Almirante Najimov. Fuente: Sputnik news.

### d) Fragatas:

Buques combatientes de tamaño medio (entre 2.000 y 5.000 t) para escolta y protección de convoyes. Como misión primaria tienen la guerra antisubmarina, aunque también manejan la antiaérea y de ataque a tierra. Son, en cualquier caso, los buques más polivalentes y más solicitados por las Marinas europeas.

### e) Corbetas:

Con desplazamientos entre 700 y 2.000 t, son buques rápidos ( $\geq 25$  nudos) diseñados para actividades de vigilancia, protección y defensa de las aguas territoriales y ocasionalmente en misiones oceánicas de corta permanencia.

Ayudan a las fragatas a cumplir las misiones de escolta y protección tanto del cargamento como buques de combate y desarrollan vigilancia y protección de la zona económica exclusiva. Son las plataformas más pequeñas capaces de albergar los sensores, armas y sistemas de combate necesarios para operar en ambientes de amenaza media.

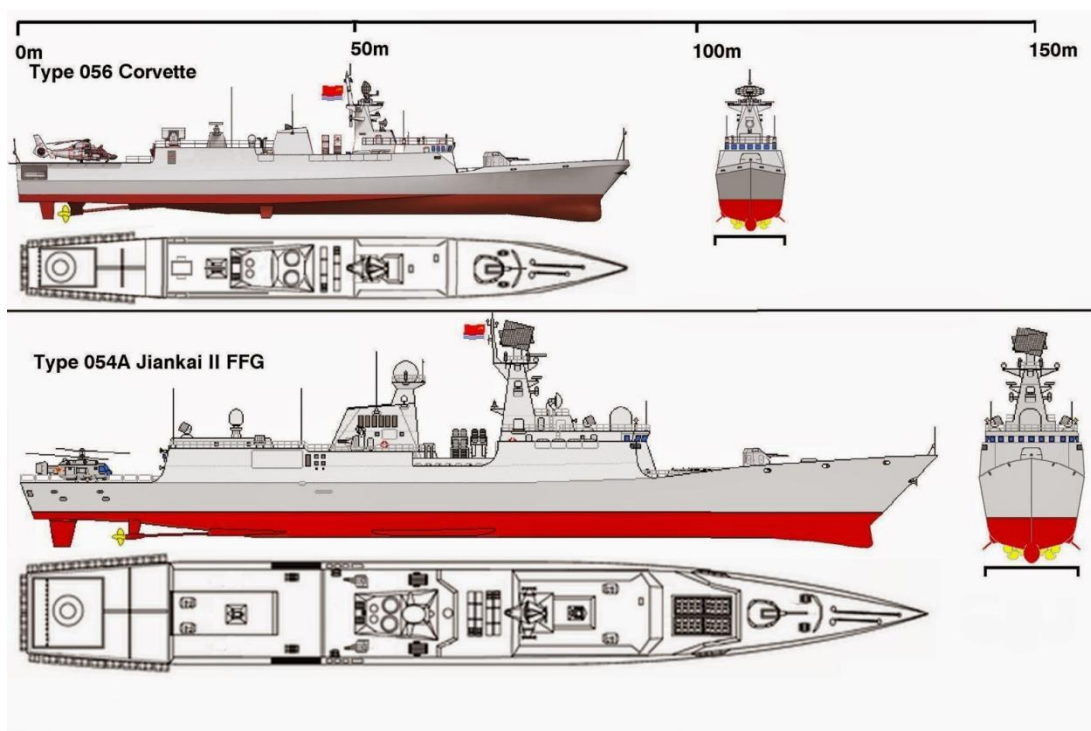


Figura 2. Comparativa entre fragata Type 054A y corbeta Type 056. Fuente: Jeff Head.

### f) Patrulleros:

Son buques de distinto porte y misiones. De ellos, debemos destacar los siguientes tipos:

- Patrulleros de altura o OPV (*Offshore Patrol Vessel*), que son los de mayor desplazamiento. Se dedican a prestar vigilancia de la zona económica exclusiva y apoyo a las misiones de flota, por lo que se diseñan para largas estancias en la mar.

- FAC (*Fast Attack Craft*) o Lanchas Rápidas, que son patrulleros de menor porte (entre 100 y 450 toneladas), que desarrollan misiones ofensivas para la defensa costera, pero con frecuencia limitadas a determinados estados de la mar. Para ello suelen ir equipados de lanzadores de misiles anti-buques (SSM) o torpedos.

### **g) Buques de guerra de minas:**

Existen fundamentalmente de dos tipos:

- Dragaminas: realizan misiones de barrido y eliminación de las minas de fondo y de orinque, mediante la generación de señales acústicas, magnéticas y eléctricas que permitan detonarlas, así como dragados mecánicos por medio de rastras provistas de cizallas. Pueden ser oceánicos, de flota (MSF) o costeros (MSC) dependiendo del entorno en que este previsto que operen, teniendo un desplazamiento mayor de 500 t en el primer caso, e inferior en el segundo de ellos.

- Cazaminas: operan en misiones de detección y neutralización de las minas mediante sonares de casco y de profundidad variable y su destrucción mediante la utilización de vehículos de operación remota (ROV), para la detonación de las mismas mediante explosivos. Pueden ser, también, de tipos oceánico o de flota (MHF) y costero (MHC).



Figura 3. Cazaminas M-35. Fuente: Jorge Guerra Moreno (Los barcos de Eugenio).

### **h) Buques anfibios:**

Utilizados para operaciones de desembarco. Los buques de asalto anfibio tienen la misión principal es trasladar a tierra mediante lanchas de desembarco y helicópteros a las fuerzas de asalto. Sin perjuicio de que, además, estos buques desarrollan control del mar y protección limitada de la fuerza, utilizando para ello helicópteros para guerra antisubmarina, helicópteros de ataque o, incluso, aviones.



Figura 4. Embarque de dos *Landing Crafts* en HNLMS Johan de Witt (L-801). Fuente: Damen Shipyards Group.

Los buques de transporte anfibios se utilizan para proyectar y desembarcar a la Infantería de Marina (tropas y materiales de forma equilibrada), mediante lanchas de desembarco propias, vehículos anfibios y/o helicópteros. Para ello estos buques han de disponer de un dique, garajes y cubierta de vuelo, por lo que son conocidos como LPD (*Landing Platform Docking*). Existen, también, buques para transporte de materiales específicos como carros de combate, obuses y otros vehículos de orugas. Entre este tipo de buques hay que enmarcar los LST (*Landing Ship Tank*).

Teniendo en cuenta lo anterior, tanto los buques de asalto como de transporte, son buques multifunción que disponen de una cubierta de vuelo de mayor o menor superficie para los helicópteros de desembarco de la Infantería de Marina y un dique interno inundable donde se sitúan las lanchas de desembarco que precargadas con blindados, vehículos rodantes o fusileros se desplazaran a la costa. Estos buques tienen un rol importante de ayuda y salvamento de la población civil en caso de actuación en zonas costeras que han sufrido desastres naturales.

#### **i) Buques de apoyo al combate:**

La misión de los mismos es apoyar al combate mediante suministros diversos a los buques combatientes y la dirección de misiones especiales en el mar.

Aunque como buques auxiliares existe un sin fin de tipos debemos distinguir entre los buques rápidos de apoyo al combate (*Station Ships*), que poseen la velocidad y el armamento necesario para acompañar al grupo de combate en la zona de conflicto; y los que no lo son (*Shuttle Ships*), los cuales transfieren la carga en la mar a los *Station Ships*, retornando a puerto para cargar de nuevo.

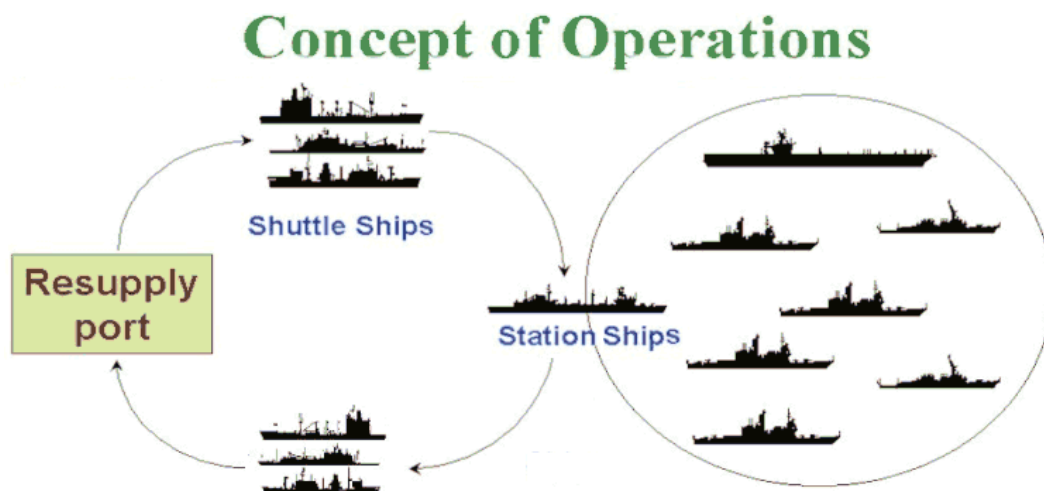


Figura 5. Concepto de operaciones militares. Fuente: *Global security*.

Buques de aprovisionamiento: de velocidad elevada, se diseñan como buques de abastecimiento de combustible, munición, repuestos o víveres, para poder incrementar con sus suministros la permanencia en la mar de las fuerzas combatientes.

Algunos tipos de embarcaciones de apoyo son los siguientes: buques de captación de inteligencia (AGI), buques de seguimiento de misiles (AGM), buques de investigación oceanográfica (AGOR), buques hidrográficos (AGS), buques de salvamento y rescate (ARS) y buques de rescate de submarinos (ASR).

#### j) Buques auxiliares experimentales o buques de pruebas:

Algunas marinas potentes disponen de buques en fase de pruebas, con intención de explorar nuevas tecnologías para aplicaciones futuras.





## 1.2. ARMA SUBMARINA

El arma submarina<sup>2</sup> la forma el conjunto de la fuerza naval que desarrolla la guerra desde el interior de los mares. Concretamente, los submarinos, que pueden ser de ataque o balísticos.

### a) Submarinos de ataque:

Son buques polivalentes con capacidad antisubmarina, antisuperficie y de ataque a tierra, con muy bajo nivel de detectabilidad y una gran capacidad de supervivencia. Operan en entornos oceánicos o costeros en misiones de ataque o disuasión de una fuerza naval hostil, protección lejana y próxima a los grupos de combate propios, proyección del poder naval sobre tierra, protección de una fuerza desembarcada o vigilancia litoral y oceánica. Pueden a su vez realizar misiones de minado de puertos y zonas de paso, inteligencia naval, operaciones especiales, etc.

### b) Submarinos balísticos:

Con denominación SSBN de *Submarine Ship Ballistic Nuclear*, son diseñados para el lanzamiento de misiles balísticos intercontinentales que pueden disparar desde profundidades de hasta 50 m. Operan en entornos oceánicos en misiones de disuasión estratégica y potencial ataque con misiles intercontinentales a objetivos múltiples en tierra. Son buques de gran porte, con capacidad de defensa antisubmarina propia, con gran autonomía de permanencia en la mar y muy bajo nivel de detectabilidad.

## 1.3 SISTEMAS DEL PRODUCTO

En los buques combatientes, dentro de la complejidad de la plataforma y sus sistemas, hay que resaltar especialmente el Sistema de Combate, que integra los sensores y las armas del buque. Se compone fundamentalmente de cuatro subsistemas:

- Sensores del buque, que detectan la amenaza mediante radares/IFF, sonares, y sistemas de vigilancia optrónica.

---

<sup>2</sup> Ver Anexo 8. VISITA AL SUBMARINO USS BECUNA Y USS OLYMPIA (EE.UU.)

- Sistema de Mando y Control (*C&D: Command & Decision System*), que recibe la información de los sensores propios y del exterior al buque y suministra evaluación y cálculo de la amenaza, mando y control.
- Sistema de Presentación de Datos (*Data Display System*), que recibe toda la información a presentar del CDS o C&D. Mediante este sistema, los comandantes de los buques pueden observar y controlar representaciones graficas de trazas seleccionadas, mapas costeros y entornos específicos de la guerra.
- Sistema de Control de Armas (*Weapon Control System*) que recibe las instrucciones del CDS, selecciona las armas y el interfaz.



Figura 6. Grupo *Carrier Strike* navegando en formación en el Océano Atlántico. Fuente: US Navy (M. Anderson).



## Capítulo 2. PROCEDIMIENTO

No existe ningún tipo de procedimiento, paso a paso, establecido a la hora de diseñar una embarcación. Sin embargo, algunos de los siguientes aspectos que ahora se presentarán pueden ayudarnos a alcanzar un buen diseño.

Basándonos en un seguido de atributos que deberá ser capaz de cumplir nuestro barco, como la flotabilidad, la estanqueidad, la resistencia estructural, la maniobrabilidad, etc. El buque deberá ser capaz de cumplir ciertas capacidades básicas como son la de transportar cierta carga o de alcanzar la velocidad deseada.

Para la realización del anteproyecto se seguirá la espiral de diseño que prácticamente se emplea para la obtención de todas las embarcaciones.

Esta espiral presenta un proceso iterativo y comparativo, de modo que, en cada paso, la aproximación al resultado óptimo mejora respecto a las fases anteriores. De esta forma, obtenemos en el centro de la espiral las características del diseño final, mientras que los valores asumidos inicialmente quedan representados en las partes más externas de la espiral.

### 1. FASES DEL DISEÑO

El proceso de diseño comprende tres fases principales:

a) El diseño conceptual.

Esta es la etapa más importante, ya que de ella depende todo el proyecto y es en esta en la cual se van a establecer los requerimientos que el diseñador ha de satisfacer. Aquí el arquitecto naval deberá determinar a partir de los requerimientos del armador (el dueño del buque) las prestaciones que deberá tener el buque.





En función del entorno marino en el cual el operará y las capacidades que se le demanden al navío, se establecerán las diferentes dimensiones, el tipo de casco, la capacidad, la velocidad, la maquinaria y demás características de la embarcación. Se crea un diseño básico y mediante su análisis al detalle, se procurará que éste cumpla con los requerimientos del armador. Esta etapa, en términos generales es iterativa y suele apoyarse en data existente de otras embarcaciones.

b) El diseño contractual.

Es la fase que se alcanza una vez el diseño conceptual es desarrollado con suficiente detalle como para permitir que se negocie un contrato para la construcción de la embarcación. Aquí ya se define el equipo, subsistemas, sistemas y demás maquinaria auxiliar requeridos por el buque.

c) El diseño detallado (en la etapa de construcción).

Constituye los diferentes detalles que se han de considerar o que surgen durante la etapa de construcción. El constructor naval ejecuta lo que el arquitecto naval ha ideado y calculado.

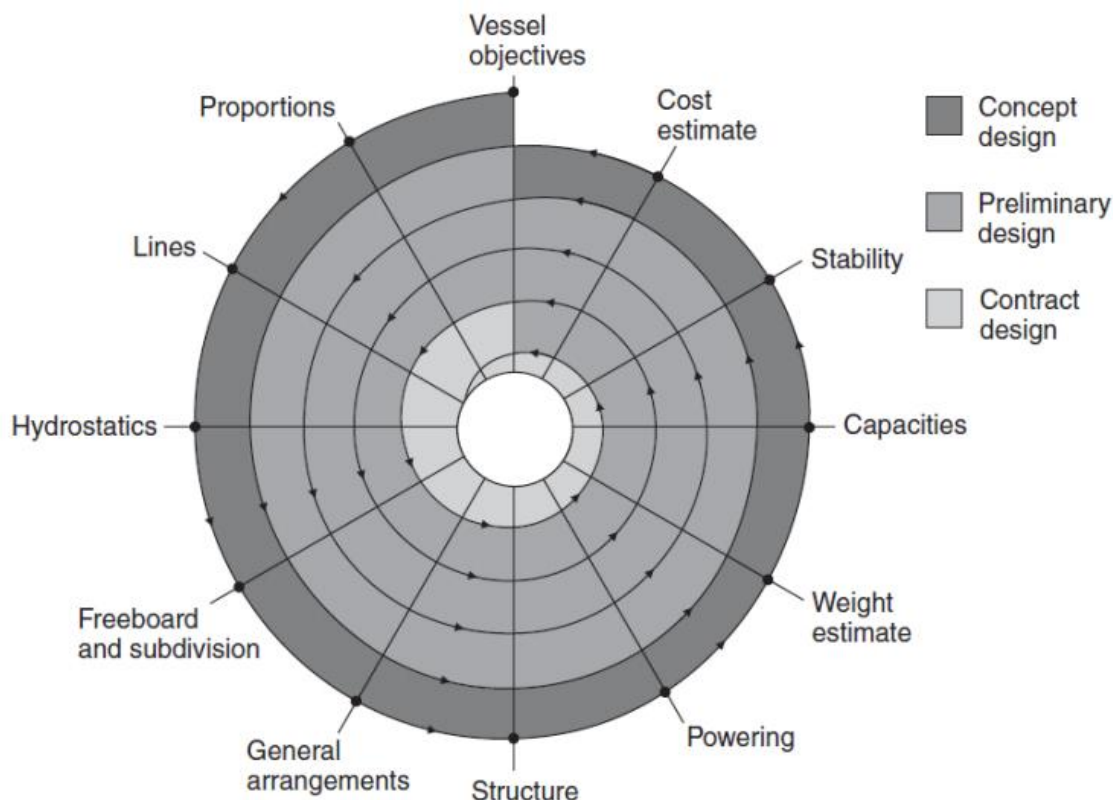


Figura 7. Espiral de diseño. Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

En este proyecto nos centraremos en realizar el anteproyecto, es decir, realizaremos una primera vuelta de la espiral para la definición de los parámetros de estudio que sirven tanto al proyectista como al cliente. Responderemos a una petición de presupuesto inicial real, lo que se denomina *Request For Information* (RFI).

En primer lugar, para realizar un nuevo proyecto es necesario tener claros los objetivos del mismo para poder tomar decisiones. Con el fin de delimitarlos correctamente, se deberán establecer una serie de consideraciones iniciales.

Para ello, se debe definir el tipo de buque que vamos a proyectar, el uso que se le dará a dicha embarcación y las prestaciones mínimas que debe incluir. Generalmente, a partir de una serie de reuniones con el cliente, se establecen este tipo de especificaciones. En este caso, las generaremos en función de las necesidades que crearemos específicamente a continuación.

Una vez seleccionado el tipo de buque, se realizará la definición de sus dimensiones principales. Este dimensionamiento se establecerá a partir de una base de datos elaborada con embarcaciones semejantes, determinadas a partir de las especificaciones iniciales, y a partir de su estudio estadístico, basado en curvas de regresión.



Una vez establecidas las dimensiones de la embarcación, se procede a la creación de las formas del casco en 3D, partiendo de las formas de las distintas embarcaciones anteriormente estudiadas. Mediante el programa de diseño *Rhinoceros*®, crearemos el modelo tridimensional de nuestro buque.

Una vez se considera que se han obtenido unas buenas formas para el casco, se exporta el modelo al programa *Maxsurf*® para estudiar su comportamiento en el medio marino. En este punto del diseño, se inicia una fase iterativa de modelado. Cada modificación del prototipo deberá ser exportado al programa de estudio para analizar el cambio de comportamiento y de valores hidrostáticos.

Una vez obtenida la carena final, se determinará la resistencia al avance, mediante la herramienta *Maxsurf Resistance*®, para poder estimar la planta propulsora necesaria. En esta etapa, se seleccionará el motor y las hélices adecuadas para la embarcación.

En la fase final del proyecto, se realizará la disposición general del buque. En ésta se dimensionará el doble casco y la cubierta inferior, la cual pertenece a la cámara de máquinas. En esta fase se definen las distintas cubiertas y espacios tanto exteriores como interiores del buque y todos los elementos que lo conforman.

## 2. LA SOCIEDAD DE CLASIFICACIÓN: LLOYD'S REGISTER NAVAL RULES

Hay muchos buques de guerra que están contruidos y clasificados por la Sociedad de Clasificación *Lloyd's Register*, particularmente buques auxiliares como el LPD Rotterdam o diferentes patrulleros. En cuanto a los buques auxiliares de la *US Navy*, todos ellos están contruidos con *American Bureau of Shipping* (ABS).

En España, la clasificación que se suele aplicar para los buques de guerra generalmente es la *SC Bureau Veritas*. La regulación de la normativa con respecto a este ámbito se rige por la sociedad *Bureau Veritas Marine & Offshore SAS*. De todas formas, clasificaremos el buque mediante *Lloyd's Register Naval Rules*.



Las Sociedades de Clasificación<sup>3</sup> no se metieron en el negocio militar en el año 2000 y empezaron a publicar unas reglas con unos mínimos que dependían mucho de la *Naval Authority* pues los requisitos de los buques de guerra son muy variables.

Durante el invierno de 1821, una serie de accidentes sufridos, supusieron el hundimiento de 2.000 buques con la consiguiente pérdida de 20.000 tripulantes. Este hecho supuso la quiebra de varias importantes compañías de seguros. Debido a esto, dos aseguradores y un corredor de seguros se juntaron creando lo que actualmente conocemos como *Bureau Veritas*. La función principal de esta compañía era la de informar a los aseguradores de cualidades y defectos de los diferentes buques.

Con el paso de las décadas y la evolución de estas SSCC, se ha ido desarrollando un sistema de inspección con el fin de clasificar los buques existentes, mantener la clase<sup>4</sup>, y tener suficiente flexibilidad para adaptarse al plan de mantenimiento de cada buque.

A modo de conclusión, se puede decir que el trabajar en cooperación con una Sociedad de Clasificación tal como *Lloyd's Register* y utilizando las Reglas de Buques de Guerra, las Armadas y Astilleros pueden concentrar sus recursos en los aspectos militares.

La organización de las Reglas se ilustra en la siguiente figura:

---

<sup>3</sup> Las Sociedades de Clasificación(SC) son organizaciones no gubernamentales o grupos de profesionales sin ánimo de lucro, con el objetivo de promover la seguridad de la vida humana en el mar y propiedades (buques y plataformas), así como la protección del entorno natural marino.

<sup>4</sup> Se dice que un buque está en clase cuando cumple las reglas y regulaciones, o es conforme con el cumplimiento de unas reglas que se hayan determinado como equivalentes.

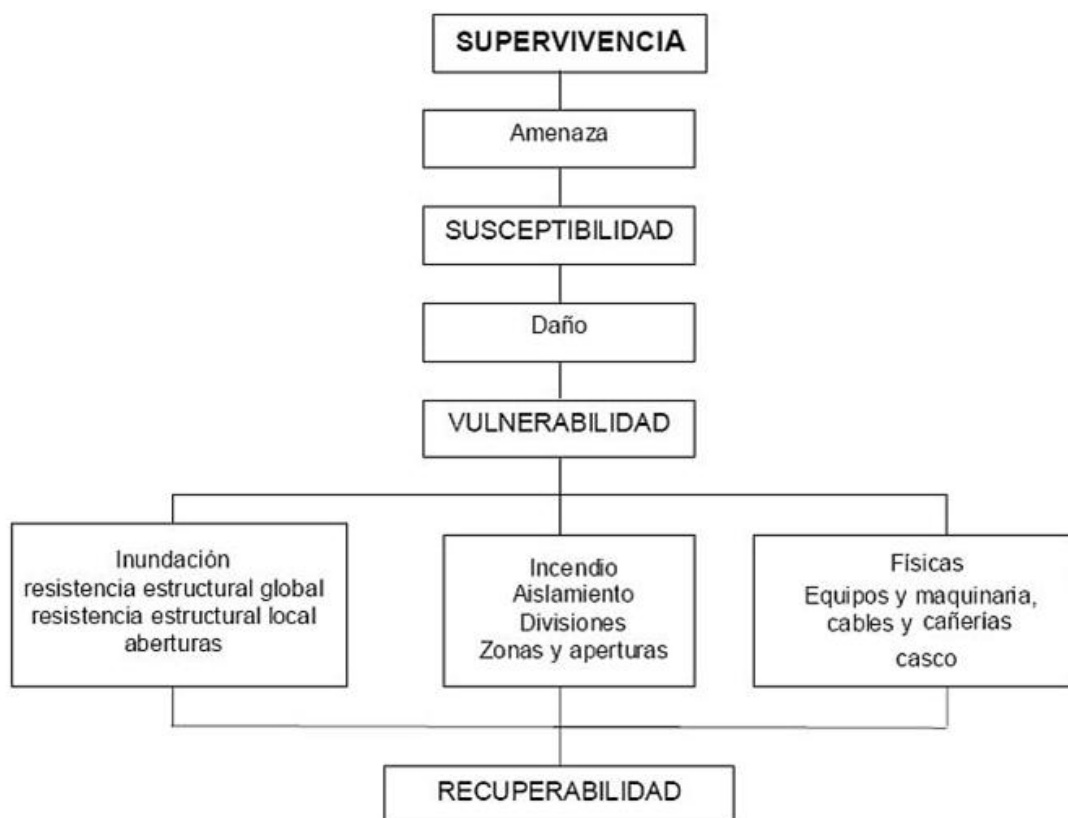


Figura 8. Organización de las Reglas LR. Fuente: *Lloyd's Register*.

Como se ve, del contenido de las Reglas, se mantiene la política de las SC de no involucrarse en los aspectos que son privativos de la administración de la bandera de la nave, como es el caso de la certificación del cumplimiento de la reglamentación internacional respecto de la estabilidad de los buques mercantes. Paralelamente, en los buques de guerra, los Sistemas de Armas y los aspectos Militares de las comunicaciones no están incluidos; pero sí pueden intervenir en su interfase.

Las reglas para buques militares de LR incorporan el concepto de supervivencia en relación con las amenazas y lo definen como la probabilidad que tiene un buque de seguir operativo con posterioridad a haber sufrido castigo derivado de un ataque; en la que la operatividad puede ser definida en toda su gama desde, la más alta (cuando el buque está intacto) hasta la necesaria para subsistir. De acuerdo con sus reglas, LR ha jerarquizado tres aspectos que comprenden la Supervivencia y son: la susceptibilidad, la vulnerabilidad y la recuperabilidad.



# Capítulo 3. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE LA EMBARCACIÓN

## 1. DEFINICIÓN DEL TIPO DE BUQUE

Como hemos definido anteriormente, al tratarse de un estudio académico, no tenemos ninguna petición formal de diseño por parte de ningún armador. Sin embargo, partiremos de una petición ficticia de la Armada Española para la creación de nuestro proyecto, la cual nos servirá como base para la obtención de un diseño que se asemeje lo más posible a la realidad.

Este cliente está interesado en obtener un buque para el patrullaje de las costas españolas. Es decir, demanda el diseño de un patrullero de altura. Se trata de un buque de grandes esloras, en este caso un OPV (*Offshore Patrol Vessel*) de prácticamente 100 metros de eslora y 12 metros de manga, capaz de desplazar 2.500 toneladas gracias a su planta propulsora de grandes dimensiones.



Figura 9. Offshore Patrol Vessel 1800 Sea Axe Fuente: Damen.

Los principales objetivos a los que se debe enfrentar la embarcación serán los siguientes:

- Vigilancia y protección de la Zona Económica Exclusiva (ZEE).
- Control de buques pesqueros y mercantes.
- Operaciones, tanto de búsqueda y rescate, como de asistencia a otros buques.
- Control de la polución, de la inmigración y el tráfico de drogas.

- Defensa de elementos estratégicos.

Para la realización de acciones de asalto o de rescate, debe ser capaz de transportar como mínimo un helicóptero y una embarcación semirrígida de unos 5 o 6 metros de eslora.

Por supuesto, al tratarse de un buque de guerra, tanto su sistema de sensores, como de comunicaciones deberán ser de lo más avanzado.

En cuanto a las características de navegación, estableceremos una velocidad de crucero de alrededor de los 15 kn, para realizar travesías o rutas de patrullaje previstas a la velocidad económica. Pero en cuanto a velocidades operacionales, será requisito indispensable la posibilidad de alcanzar grandes velocidades, hasta los 25 kn.

## **2. DIMENSIONAMIENTO**

Empezaremos la fase de desarrollo del proyecto con un dimensionamiento de la embarcación, es decir, la obtención de las dimensiones y características principales del buque. Para obtener estos parámetros, se crea una base de datos de referencia con algunas embarcaciones de las diferentes marinas del mundo, con objetivos y capacidades operacionales similares.

A partir de este estudio, se realiza un análisis estadístico para determinar las dimensiones principales de la embarcación. Esta estimación inicial no será definitiva, ya que variarán con libertad conforme avance el estudio.

### **2.1. BASE DE DATOS**

Como hemos expuesto anteriormente, se ha realizado una base de datos de patrulleros de altura similares, tomando como criterio principal de selección la eslora total. Una eslora similar permite obtener una idea básica de las características del buque, el cuál será bastante proporcional a dicha eslora.

Generalmente, un mismo tipo de buques con esloras similares, debe ajustarse a un mismo rango de velocidades y potencias. Esto será importante comprobarlo, ya que las formas de los cascos varían en función de las velocidades desarrolladas por estos, con la finalidad de que las dimensiones obtenidas para generar las formas sean lo más adecuadas posible.





Se analizan 20 embarcaciones, con esloras comprendidas entre 70 y 130 metros de eslora, que se ajusten a los requerimientos del modelo. Los parámetros más significativos a tener en cuenta para un primer dimensionado del proyecto son: eslora, manga, calado, desplazamiento y velocidad máxima.

BUQUES	L <sub>OA</sub> (m)	B (m)	T (m)	$\Delta_{MAX}$ (t)	V (kn)
WMSL 755	127,4	16,45	6,85	4572	28
Almirante Riveros FFG-18	123	14,6	4,3	3320	30
USS Indianapolis LCS-17	118,1	17,6	4,3	3462	40
BAP Palacios FM-56	113,2	11,3	3,7	2525	34
Shachi	110	14,5	3,9	2300	25
Kiltan P 30	109,2	12,8	3,72	3150	25
POLA 101	107,5	14	3,7	2850	28
INS Saryu	105	12,9	3,9	2230	25
Soobrazitelnyy (531)	104,55	10,97	3,66	2100	27
Warao PC-22	98,9	13,6	3,8	2419	24
Avante 2200	97,5	13,6	4,1	2500	25
Meteoro P-41	93,9	14,2	4,2	2500	20,5
OPV 93C	93	14	4,1	2550	20
Amazonas P120	90,5	13,5	6	2600	25
HMS Forth P222	90,5	13	3,8	2000	24
Haijing 46104	89	11,6	4,4	1500	25
Braunschweig F 260	88,8	13,2	4,8	1914	26
L'Adroit (P725)	87	11	3,3	1450	21
Sirio P409	88,6	12,2	3,84	1580	22
Foscari P-493	88,6	12,2	3,37	1520	25
HMS Clyde P257	81,5	13,5	4,1	2000	21
ARM PO-151	81,4	10,5	3,9	1300	20
Arc PZE-47	80,6	13	3,8	1728	25
Knud Rasmussen P570	71,8	14,6	4,9	2050	17
Uragan 567	67	11	4	800	30

Tabla 1. Base de datos de patrulleros de diferentes marinas.

Una vez comparados los datos obtenidos a partir de la base, en contraste con las especificaciones y requerimientos iniciales, seleccionaremos un patrullero que se asemeja mucho a nuestro buque proyecto y los estableceremos como buque base. Se trata del modelo Avante 2200, producido y comercializado por la empresa Navantia.

Este modelo de patrullero ha sido el elegido por Arabia Saudí recientemente para la protección de sus costas. La negociación llevada a cabo por ambos países ha sido tema de debate durante los últimos meses, con un final positivo para la industria naval española. Este pasado 15 de enero de 2019, en el astillero de San Fernando se realizaba el corte de la primera plancha del buque.

Datos del buque base:

AVANTE 2200	$L_{OA}$ (m)	97,5
	$L_{WL}$ (m)	85,8
	B (m)	13,6
	T (m)	4,1
	Puntal, D(m)	7,2
	$\Delta_{MAX}$ (Tn)	2500
	V (kn)	25

Tabla 2. Datos Avante 2200



Figura 10. Avante 2200. Fuente: Navantia.

### 3. ESTUDIO DEL DIMENSIONAMIENTO Y DIFERENTES PARÁMETROS

#### 3.1. LA ESLORA

La eslora en los buques de combate se establece a partir de los requerimientos, las interconexiones con el sistema de combate y otros que gravitan sobre la cubierta superior. Los factores condicionantes de gran importancia son: la distribución de armas, sensores y antenas, incluyendo las distancias mínimas a respetar por factores como la ignición de misiles, rebufo de cañones e interferencias electromagnéticas. La inclusión del helicóptero como arma decisiva en la guerra anti-submarina moderna ha conllevado al requerimiento adicional de una mayor eslora y superficie de cubierta.

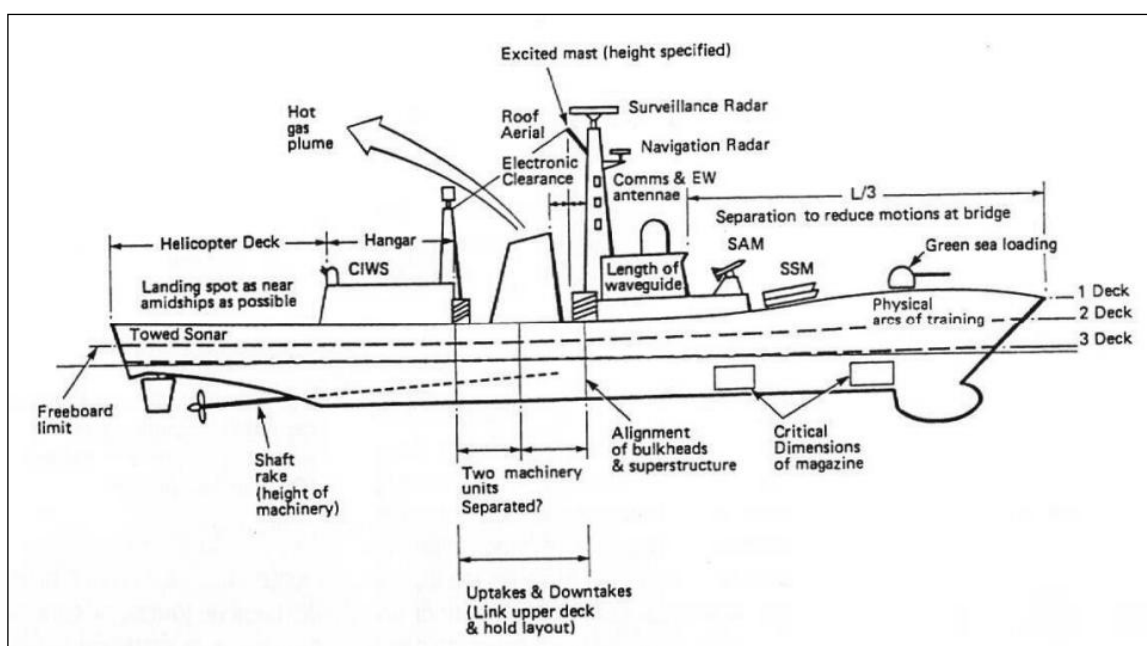


Figura 11. Algunas dimensiones críticas en el replanteo de la cubierta superior de una fragata.

Fuente: David K. Brown, *The architecture of frigates*, Trina, 1987, Londres.

Otro factor de gran importancia es la longitud y posición de las cámaras de máquinas, con la superficie que ocupan en la cubierta superior los conductos de admisión de aire y escape de gases de los propulsores: turbinas de gas y motores diésel. Como factores relevantes de segundo grado tenemos el sistema de aprovisionamiento en la mar (RAS); la estiba de botes y balsas; el tipo de la superestructura; la maniobra de fondeo; y otros.

Desde el punto de vista de la carena, la eslora es el factor dominante si se desea reducir las amplitudes de cabeceo y oscilaciones verticales con mar de proa. La interrelación es marcadamente no

lineal y tiene gran importancia tanto en buques pequeños como en patrulleros de altura. Si no se les dota de una eslora adecuada, el rendimiento y confort de la dotación se verán afectados considerablemente.

En el diseño de ciertos patrulleros de altura (OPV), se tuvieron en cuenta no solo datos de amplitudes admisibles de aquellos movimientos, sino también un factor de origen médico-hospitalario conocido como "Magnitud de Movimiento Subjetivo". Para su determinación y comprobación se utilizan los valores umbrales de la aparición de náuseas, falta de sueño, agotamiento y la necesidad de agarrarse cuando se trabaja o camina.

El mareo es causado principalmente por la aceleración vertical, composición de los movimientos de cabeceo y oscilación vertical y la susceptibilidad al mismo se incrementa con el cansancio, posiblemente debido al balance. Las náuseas se presentan con frecuencias de movimientos entre 0,15 y 0,30 Hz, frecuencias con alta probabilidad de aparición en buques de tipo medio.

La extenuación se presenta como originada por cualquier movimiento de duración continuada. Su efecto se amplía con el ruido, la vibración y el ruido. La necesidad de agarrarse mientras que se trabaja está provocada principalmente por la aceleración lateral: conduce al cansancio y aumenta la susceptibilidad a las náuseas y vómitos.

Para el diseño de un patrullero que, entre otras misiones tendría la de guardapescas y por ello deberá ser capaz de operar cuando los pesqueros de vigilancia y/o acompañamiento lo hiciesen. Se seleccionaron esloras entre 6 m y 90 m que, de datos históricos se consideraron como banda de variación para reducir cabeceo y oscilación vertical a límites permisibles.

Se calcularon los movimientos para varios estados de la mar y rumbos, y se derivaron expresiones de dichos movimientos como medias anuales compensadas. A partir de esta información, se calculó la magnitud de movimiento subjetivo (SMM) a lo largo de los espacios habitables. De este proceso, se seleccionó una eslora de 75 m. Esta clase de patrulleros evidenció un muy favorable comportamiento. Otro factor que influye en la amplitud de cabeceo es la relación eslora/calado, reduciéndose aquella al aumentar esta última. Sin embargo, el fenómeno del *slamming* depende del valor absoluto del calado.

### 3.2. LA MANGA

Se llama manga a la distancia entre babor y estribor, horizontalmente.

Tradicionalmente, a ésta se le han asignado los siguientes atributos:



Es determinante de la estabilidad inicial y del periodo natural de balance. En unión de las formas de la obra viva y el francobordo define el par de formas en la estabilidad del buque intacto. Influye también en la estabilidad después de avería, con la ayudada de un compartimentado eficaz.

La manga define, en unión del coeficiente cilíndrico longitudinal y de la posición del centro de carena, la situación de la cámara de máquinas siendo, de sus componentes los más críticos de empacho transversal, las cajas reductoras. Asimismo, en buques bi-hélice, ha de adecuarse el valor de la manga y la separación entre líneas de ejes. La relación  $L/B$  se utiliza tradicionalmente junto con la relación  $L/f$  para obtener una apariencia estilizada del buque.

Modernamente, la relación  $L/B$  se ha utilizado para reducir el coste de construcción, aumentando  $B$  y reduciendo  $L$ . Esto es debido a que el peso de acero de fragatas modernas puede definirse por la expresión:

$$W_A = L^{1,36} \cdot B \cdot D \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

En la que se aprecia la influencia de  $L$  respecto a  $B$  y  $D$  (unidades en pies).

En la estabilidad transversal de buque intacto y después de averías, es necesario hacer intervenir, junto con la manga, los factores siguientes:

- a) El tipo de secciones transversales.
- b) Dotación al buque de abanico.
- c) Compartimentado del buque. Posición de mamparos transversales y de la cubierta de compartimentado.
- d) Cantidad de lastre segregado que se asigna al buque.

La manga es la dimensión principal de la que depende el movimiento de balance. Este movimiento afecta sensiblemente a la posibilidad de operación del helicóptero, influye en el trabajo de sensores y lanzadores y degrada la condición física de la dotación.

El amortiguamiento del balance se ha confiado tradicionalmente a las quillas de balance y a los estabilizadores de aletas. Aquellas no deben suprimirse nunca, pues el efecto de estos últimos comienza a sentirse a partir de una velocidad de unos 10 o 12 nudos.

El periodo de balance es un factor importante en el diseño, pues períodos cortos, provocados por altos valores de GM, producidos por una manga excesiva, hace que el buque sea poco marinero e inseguro para la tripulación. Esta característica se ve poco afectada por la incorporación de estabilizadores.

Para controlar el valor de la manga en las primeras fases del dimensionamiento, como guía en el proyecto conceptual, el periodo natural de balance puede expresarse por:

$$T_b \approx \frac{0,78 \cdot B}{\sqrt{GM}} \quad (2)$$

Siendo entre 9 y 10 s los valores típicos de  $T_b$  en corbetas y embarcaciones similares.

### 3.3. EL CALADO, EL PUNTAL Y EL FRANCOBORDO

Los buques de guerra no siguen la mecánica de líneas de carga como los buques mercantes, la cual, para una determinada configuración de buque, permite calcular el francobordo, es decir, la diferencia entre puntal y calado.

En estos buques, el calado debe tener el mayor valor posible, compatible con las limitaciones que impongan arsenales, puertos, estuarios, etc. Habrán de tenerse en cuenta elementos como el sonar de quilla y el diámetro del propulsor respecto a la línea de base al dar inclinación a las líneas de ejes buscando el mayor calado posible a popa para el mejor proyecto posible de las hélices, especialmente en términos de retrasar la aparición de la cavitación.

Cuanto menor sea el calado a popa que se obtenga, más revolucionadas deberán ir las hélices, buscando el diámetro óptimo. El incremento de las revoluciones de una hélice afecta en la disminución de su rendimiento, con su impacto directo en la potencia propulsora necesaria a instalar, y son más difíciles de dominar la cavitación, el ruido hidrodinámico y las vibraciones excitadas por aquéllas.

Un alto valor relativo del calado a proa disminuye el riesgo de *slamming* y asegura una adecuada inmersión del sonar de radar. Como valor orientativo, puede indicarse que, en buques bi-hélice tipo fragata, el diámetro de las hélices, resulta ser del orden del calado. En caso de hélices de paso controlable, y para permitir el giro entre las palas, el diámetro crítico para ello se puede expresar por:

$$\phi h = \frac{1}{5} \cdot \sqrt{\frac{BHP (Kw)}{V}} \quad (3)$$



El francobordo, es decir, la diferencia entre puntal y calado, tiene la misión de mantener seco al buque en proa y popa, y dotar al buque de la suficiente reserva de flotabilidad y estabilidad a grandes ángulos en situación de buque intacto y después de averías, con la ayuda de una compartimentación adecuada.

El francobordo a proa juega un papel importante a la hora de reducir los embarques de agua. De manera inversa, el exceso de francobordo eleva el KG del buque, con su repercusión en la estabilidad, aumentando a su vez la superficie bélica, lo que puede originar problemas de operación con vientos fuertes de costado. Un valor que podría ser tomado por bueno preliminarmente es:

$$F_{pr} \approx 0,6 \cdot \sqrt{L} \quad (4)$$

Junto con el francobordo, otras características que contribuyen a mantener el buque seco es el abanico de las cuadernas en aquella zona (sin exagerar la curvatura) y los codillos.

Ambas características contribuyen a que los rociones, (agua desplazada por el cabeceo del buque y empujada por el viento sobre la cubierta) que son especialmente molestos si alcanzan el puente de gobierno, sean desplazados fuera de los costados del buque.

Los embarques de agua, presentes cuando se anula el francobordo a proa por el movimiento del buque, pueden resultar destructivos si alcanzan los montajes como lanzadores de misiles y cañones de proa.

La segunda cubierta se suele tomar como cubierta de compartimentado a los efectos de averías (partiendo de la línea de base y siendo ésta continua). El puntal de la misma se suele determinar por los requerimientos en altura de la planta propulsora, más un margen, más la altura que se prevea de doble fondo. Si se prevén plataformas intermedias, es necesario tenerlas en cuenta. A este valor se le suma una altura adecuada de entrepuente y se obtiene de esta forma el puntal a la cubierta superior.

### 3.4. COEFICIENTES DE FORMA DE LA CARENA

En un primer estudio del dimensionamiento, la carena puede representarse, muy simplificada, por el coeficiente prismático.

$$C_p = \frac{\nabla}{L \cdot A_{trav \text{ sección media}}} \quad (5)$$

El  $C_p$  es una medida de la distribución longitudinal del desplazamiento. Un bajo valor de  $C_p$  significa que el volumen se concentra alrededor de la perpendicular media y que los extremos son finos.

La distribución del desplazamiento influye en factores como la resistencia por formación de olas, disposición general y superficie de cubiertas, y en menor medida, en la estabilidad.

Desde el punto de vista de resistencia al avance, en la Figura 12 se representa, en base a datos de buques construidos, el valor óptimo de  $C_p$  en función de  $Fn$  (a la velocidad máxima). Sin embargo, dado el perfil operacional de los buques tipo corbeta y fragata, el valor óptimo de  $C_p$  a la velocidad de crucero, debe ser también tenido en consideración. Ordinariamente, se elige un valor de compromiso entre ambos.

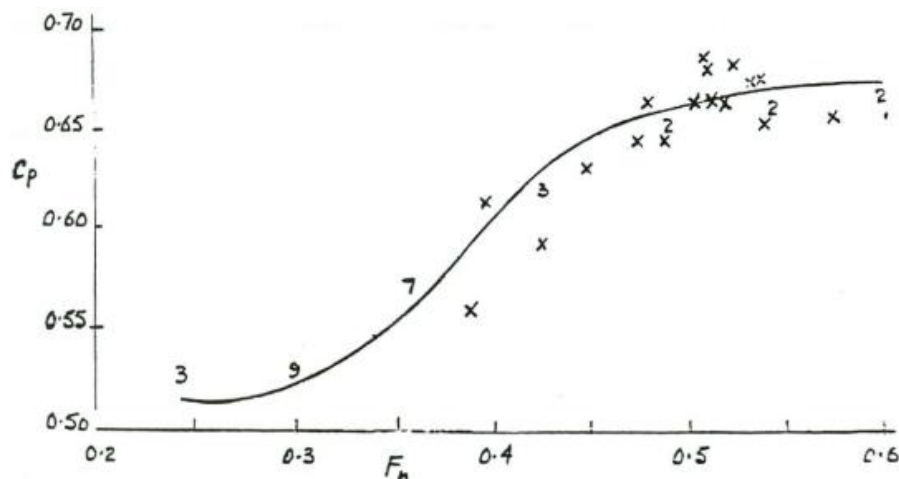


Figura 12. Valores óptimos de  $C_p$  en función de  $Fn$ . Fuente: Series sistemáticas Taylor-Morton.

Para nuestro buque proyecto, buscamos el número de Froude, para ambas condiciones de operación: velocidad de crucero y velocidad máxima.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL_{WL}}} \quad (6)$$

Dónde:  $V$  es la velocidad [m/s],  $g$  es la fuerza de la gravedad [9,81 m/s<sup>2</sup>] y  $L_{WL}$  es la eslora efectiva de nuestro buque, es decir, la eslora de flotación [m].

$$Fn_{(15 \text{ kn})} = \frac{15 \text{ kn} \cdot \frac{0.5144 \text{ m/s}}{1 \text{ kn}}}{\sqrt{9,81 \cdot 90}} = 0,26 \quad (7)$$

$$Fn_{(25 \text{ kn})} = \frac{25 \text{ kn} \cdot \frac{0.5144 \text{ m/s}}{1 \text{ kn}}}{\sqrt{9,81 \cdot 90}} = 0,44 \quad (8)$$



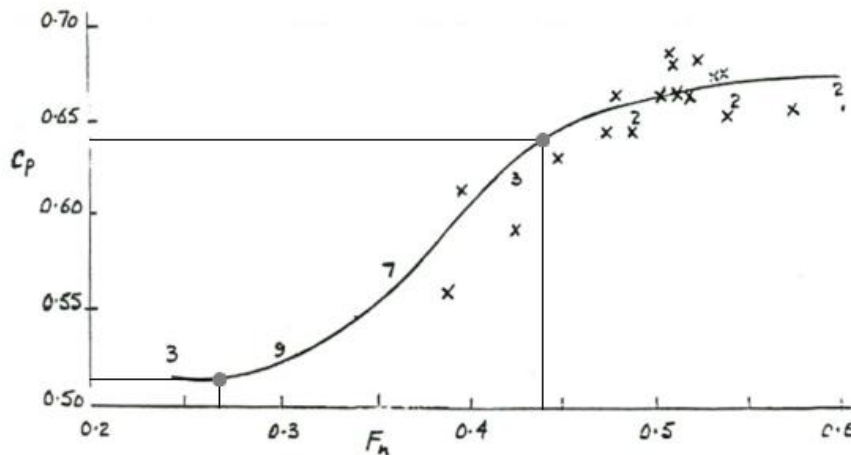


Figura 13. Obtención de valores de  $C_p$  en función de  $F_n$ . Fuente: propia, editado de Series sistemáticas Taylor-Morton.

De la Figura 13. obtenemos que para  $F_{n15kn}=0,27$  el coeficiente prismático debería ser  $C_{p15kn}=0,52$ . Del mismo modo, para  $F_{n25kn}=0,445$  el coeficiente prismático debería ser  $C_{p25kn}=0,64$ .

Un valor de compromiso para ambas velocidades sería un valor intermedio, es decir, que el  $C_p$  de nuestro buque estuviera comprendido entre 0,52 y 0,64.

Un bajo valor de  $C_p$  puede proporcionar amplio volumen para la maquinaria propulsora, pero los finos extremos resultantes pueden aparejar problemas en el montaje del sonar de quilla y en las salidas de los ejes propulsores. Si abordamos el otro extremo, un alto valor de  $C_p$  acarrea que la sección media resulte pequeña y que surjan problemas al instalar la planta propulsora.

Las características de estabilidad después de averías dependen no sólo de las formas sino también, y de manera importante, de la compartimentación seleccionada. Por ello, es difícil precisar la influencia de las formas. Cuanto más uniforme sea la distribución del desplazamiento y mayor sea el valor del coeficiente de la flotación, ambos asociados con valores altos de  $C_p$ , mayor será la resistencia del buque en avería.

Por el contrario, unas formas con bajo  $C_p$ , en caso de avería en la zona central, perderá bastante empuje y se hundirá la carena en alta proporción hasta que se recupere la flotabilidad perdida por los finos extremos asociados. A su vez, en unas formas de alto  $C_p$ , las averías en los extremos del buque pueden ser incluso más serias que en el caso arriba expuesto, pues a la pérdida de flotabilidad se une la descompensación longitudinal (variación brusca del asiento).

Viendo que coeficiente debería tener nuestro patrullero y en vista de los aspectos comentados hasta ahora, se decide establecer el  $C_p$  más elevado.

$C_p = 0,64$

El coeficiente de bloque es un número adimensional que relaciona el volumen de agua que desplaza la carena del buque con el paralelepípedo formado por la eslora, manga y calado. Este se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{WL} \cdot B \cdot T} \quad (10)$$

Dónde:  $\nabla$  es el volumen de la carena,  $L_{WL}$  es la eslora en flotación [m],  $B$  es la manga [m] y  $T$  es el calado [m].

El coeficiente de bloque en un buque de guerra, debido a su naturaleza se definen de forma prácticamente individual para cada buque.

Como el coeficiente prismático se selecciona en base a variados determinantes, el coeficiente de la sección media,  $C_x$ , resulta de:

$$C_x = \frac{C_b}{C_p} \quad (11)$$

El coeficiente de la flotación ha recibido modernamente una especial atención al ser un parámetro que influye positivamente en la reducción del cabeceo y oscilación vertical. Como:

$$C_w = \frac{C_b}{C_{pv}} \quad (12)$$

La expresión anterior indica que  $C_w$  es función de la distribución vertical del desplazamiento, definido por  $C_{pv}$ :

$$C_{pv} = \frac{A_{flotación}}{L \cdot B} \quad (13)$$

Cuando  $C_{pv}$  tiene un valor elevado, ello significa que el buque tiene muy pequeña variación en las áreas de las flotaciones por debajo de las de proyecto y ello es típico de formas en U. Para lograr un valor relativamente alto de  $C_w$ , es necesario que, siendo  $C_b$  relativamente pequeño en los buques de guerra,  $C_{pv}$  tenga también un valor más bien bajo, lo que se consigue con formas en V.

### 3.5. FORMAS DE LA CARENA Y CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA

Las formas de los buques de combate modernos están caracterizadas por:

- 1) Gran área de flotación (valor alto de  $C_w$ ).
- 2) Formas en V pronunciada a proa; muy finas cerca de la quilla, lo que favorece el no embarque de agua y disminuye el riesgo de *slamming*.
- 3) Abanico desde la flotación y a lo largo de toda la eslora.
- 4) Espejo de popa de manga moderada.
- 5) Henchimientos integrados en la carena.
- 6) En la obra muerta, buenos valores del francobordo.

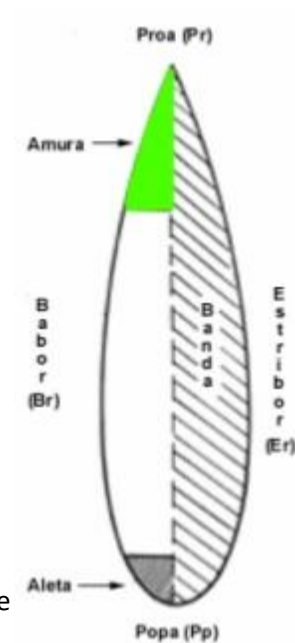
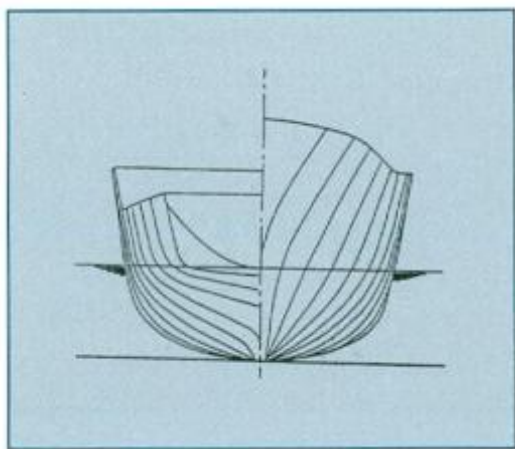


Figura 14. Caja de cuadernas del destructor DDG-51 (USA) e ilustración de la zona de amura.



## AMURADAS

El complemento del francobordo en los extremos del buque son las amuradas<sup>5</sup>. Cuando el agua supera el francobordo, es necesario que las amuradas tengan unos amplios imbornales para el desagüe de la cubierta. Las amuras deben ser robustas para poder soportar las importantes cargas de las masas de agua en movimiento embarcadas.

## ABANICO

La inclinación que se da al costado hacia fuera o abanico tiene un efecto importante reduciendo los embarques de agua en proa, y su valor intrínseco llega a igualar al del francobordo. Posee además un efecto positivo en la estabilidad a grandes ángulos. Por ello, es una característica propia de los buques modernos, habiendo de limitarse su curvatura a que se pudiera presentar *slamming* en la zona de abanico. Ello puede detectarse mediante ensayos con modelos.

En ocasiones, el abanico se crea con un codillo o punto intermedio de cambio de curvatura, buscando un final adecuado del reviro de las cuadernas. Los codillos son, además buenos deflectores de los rociones (espuma formada por el movimiento del buque y arrastrada por el viento).

## ESPEJO DE POPA

El espejo de popa, de la que se dispone actualmente en todos los buques de combate, tiene las siguientes características positivas respecto a las antiguas popas de crucero.

- Reduce la resistencia al avance producida por altas velocidades.
- Aumenta la superficie de la cubierta de vuelo.
- Facilita la instalación de timones dobles y sus aparatos de gobierno.
- Se mejora la flotabilidad y el coeficiente de flotación del cuerpo de popa, positivo desde el punto de vista de comportamiento en la mar.

---

<sup>5</sup> Amura: Parte de los costados del buque donde este empieza a estrecharse para formar la proa.



## 4. ESTUDIO ESTADÍSTICO

Partiendo de la base de datos anteriormente generada, se realiza un estudio estadístico para la determinación del dimensionamiento principal de nuestro patrullero.

### 4.1 ESLORA DEL BUQUE

#### 4.1.1. ESLORA TOTAL (LOA)

Este dato queda determinado por las especificaciones básicas del proyecto. Apoyándonos en la base de datos y comparando las diferentes esloras contrastadas, dimensionaremos nuestro buque. Partiendo de este dato clave y mediante rectas de regresión, obtendremos los diferentes parámetros.

$$L_{OA} = 96 \text{ m} \quad (14)$$

#### 4.1.2. ESLORA DE FLOTACIÓN (LWL)

La eslora de flotación es la longitud medida entre la intersección de proa con la línea de flotación y la intersección de popa con la línea de flotación. Esta dimensión es de gran importancia, dado que durante la navegación es la eslora efectiva de la carena. Esta influye, por tanto, en la resistencia al avance, el lanzamiento<sup>6</sup> del barco y el cabeceo del mismo.

Una menor diferencia entre  $L_{OA}$  y  $L_{WL}$  se traduce en unos lanzamientos de proa y popa menores, produciendo una mejor igualdad entre el centro de carena y centro de gravedad. De esta forma se consigue reducir el cabeceo excesivo, reduciendo los problemas de mareo en la tripulación y los pasajeros que se encuentran en el interior del buque, mejorando de esta forma el confort general.

De nuestro buque base<sup>7</sup>, obtenemos una relación entre la eslora total y LWL, la cual usaremos para extrapolar a nuestro buque proyecto:

$$L_{WL}/L_{OA} = 85,8/97,5 = 0,88 \text{ m} \quad (15)$$

<sup>6</sup> Lanzamiento: Inclinación o salida hacia fuera de roda por la proa y del codaste por la popa respecto a las perpendiculares en los extremos de la quilla.

<sup>7</sup> Ver buque base en página 20.



Por lo tanto, para una eslora total de 96 m, tendremos una eslora en la línea de flotación de:

$$L_{WL} = 84,5 \text{ m} \quad (16)$$

Esto significa que el lanzamiento de proa será de aproximadamente un 15%.

#### 4.2. DESPLAZAMIENTO ( $\Delta$ )

El desplazamiento es el peso del volumen de agua desplazada por el propio buque, peso que a la vez es igual la masa total de la embarcación. Se obtiene a partir de la suma del peso en rosca y el peso muerto de la embarcación.

$$\Delta = P_{rosca} + P_{muerto} \quad (17)$$

El peso en rosca es el peso real del buque cuando está terminado y listo para servicio, pero se encuentra vacío. El peso muerto es el peso real en toneladas que un buque puede transportar cuando está cargado hasta el calado máximo admisible (incluyendo combustible, agua dulce, suministros, captura y tripulación).

Otra forma de encontrar el desplazamiento del buque es multiplicar el volumen sumergido expresado en  $\text{m}^3$  por la densidad del agua en la que flota. El mar mediterráneo tiene una densidad de  $1,026 \text{ kg/m}^3$ .

$$\Delta = V_{sumergido} \cdot \rho_{agua \text{ de mar}} \quad (18)$$

Una vez seleccionada la eslora de la embarcación, partiremos de la base de datos para generar una gráfica para la obtención del desplazamiento de nuestro buque. De esta forma obtendremos unas dimensiones orientativas que podrán variar durante el desarrollo del proyecto.

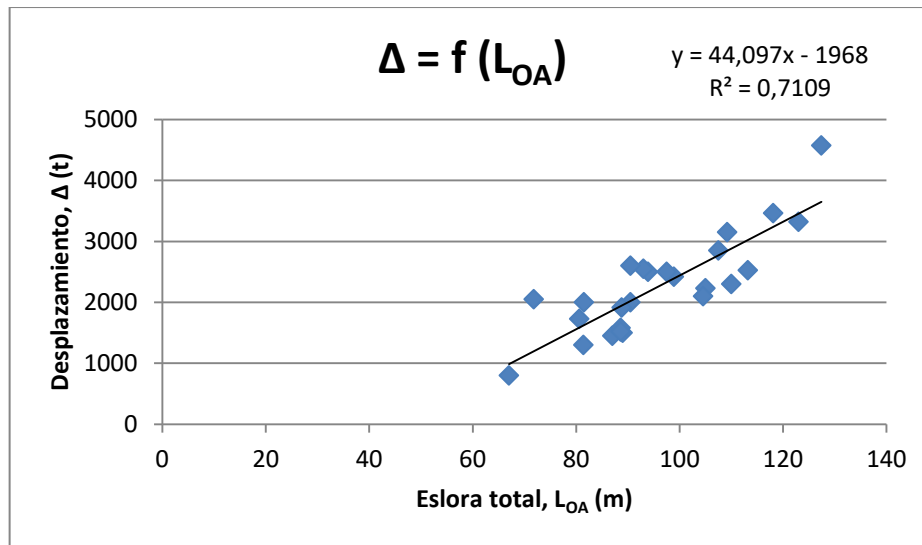


Figura 15. Relación eslora – desplazamiento. Fuente: propia.

Relación entre eslora y desplazamiento, obtenida a partir de la gráfica:

$$\Delta = 44,097 \cdot L_{OA} - 1968 = 44,097 \cdot 96 - 1968 = 2.265,3 \text{ t} \quad (19)$$

La regresión lineal empleada para la obtención del desplazamiento tiene un coeficiente de correlación ( $R^2$ ), es decir, una relación entre las dos variables analizadas, de 0,71. Este valor se considera aceptable cada su cercanía a la unidad.

#### 4.3. MANGA (B)

Esta dimensión influye en la Resistencia a la fricción ( $R_F$ ), dado que a mayor manga (con un mismo desplazamiento) supone una mayor cantidad de superficie mojada. Además de un aumento en la resistencia por formación de olas ( $R_W$ ), debido a que las formas resultarán más llenas. Estos dos factores conllevan un aumento de la Resistencia Total ( $R_T$ ).

En cuanto a la estabilidad, un aumento de la manga, supone un aumento tanto de la estabilidad transversal, como de la habitabilidad interior de la embarcación.

Partiendo del desplazamiento, obtendremos la manga de nuestro buque.

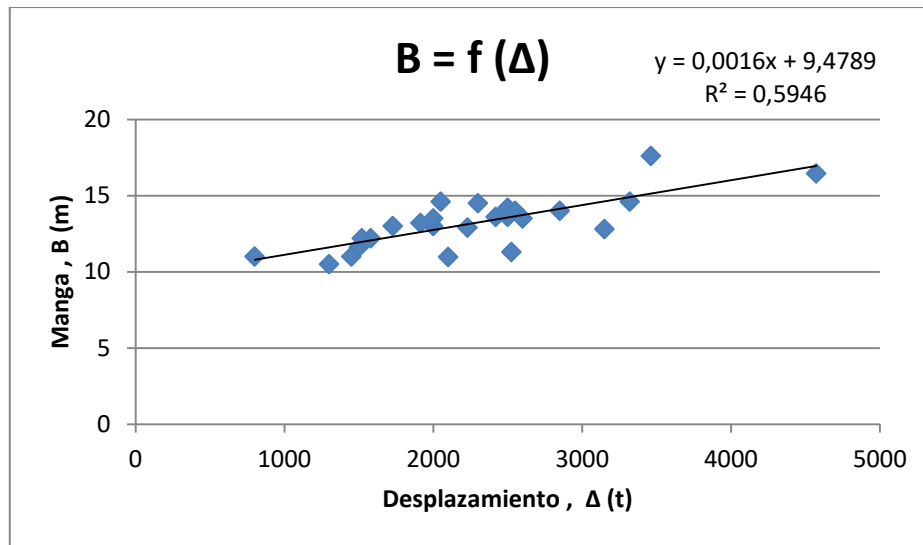


Figura 16. Relación desplazamiento – manga. Fuente: propia.

Relación entre desplazamiento y manga, obtenida a partir de la gráfica:

$$B = 0,0016 \cdot \Delta + 9,4789 = 0,0016 \cdot 2,265,31 + 9,4789 = 13,1 \text{ m} \quad (20)$$

#### 4.4 Calado (T)

El calado es la distancia vertical entre un punto de la línea de flotación y la línea base del buque. En nuestro caso, se tomará la línea base la quilla, es decir, el punto más bajo de la embarcación.

Esta dimensión la estudiaremos en función de la manga.

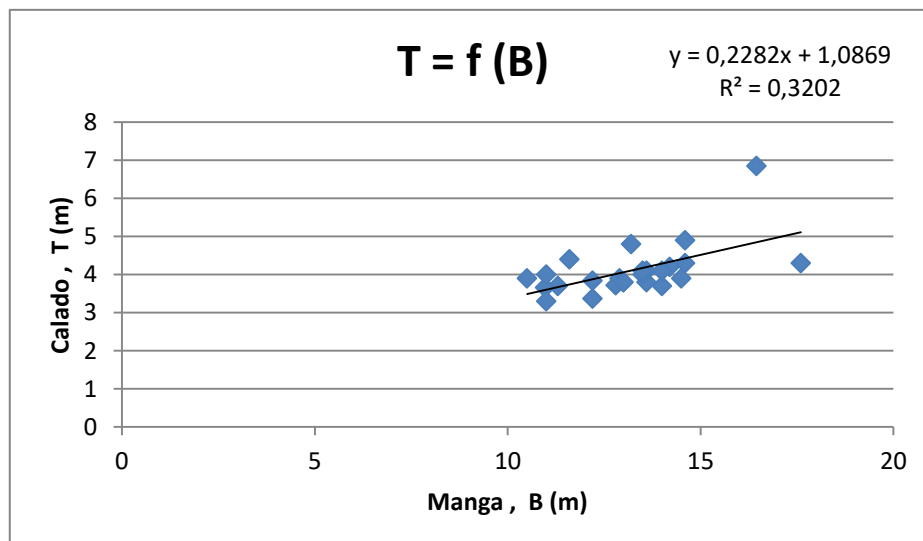


Figura 17. Relación manga – calado. Fuente: propia.



De la base de datos se obtiene la siguiente relación:

$$T = 0,2282 \cdot B + 1,0869 = 0,2282 \cdot 13,1 + 1,0869 = 4,08 \text{ m} \quad (21)$$

#### 4.5 Velocidad ( $V_{\text{máx}}$ )

La velocidad de diseño está fuertemente ligada a la resistencia al avance que generará la carena en el medio marino. En función de cuál sea la velocidad deseada, la potencia que deberá desarrollar la planta motriz para propulsar la embarcación deberá ser mayor.

Para el cálculo de la velocidad de diseño estudiaremos la relación entre esta y la eslora de la embarcación, obteniendo la siguiente gráfica:

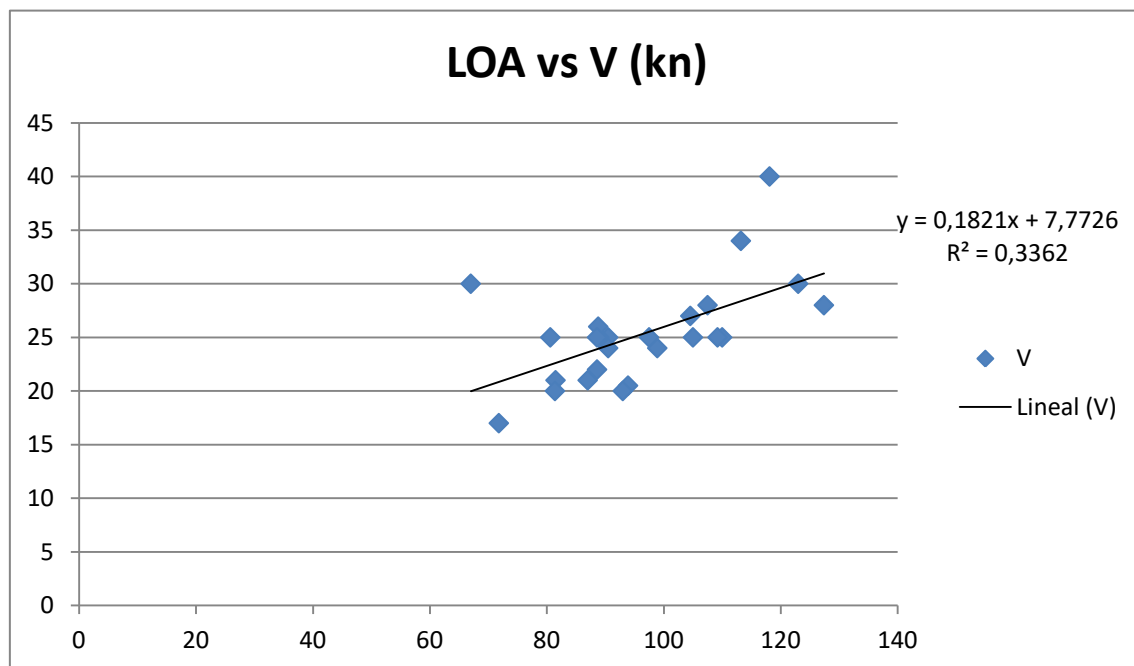


Figura 18. Relación eslora – velocidad. Fuente: propia.

Relación entre Eslora y desplazamiento, obtenida a partir de la gráfica:

$$V = 0,1821 \cdot L_{OA} + 7,7726 = 0,1821 \cdot 96 + 7,7726 = 25,9 \text{ kn} \quad (21)$$



#### 4.6 DATOS FINALES DEL DIMENSIONAMIENTO

Buque proyecto	$L_{OA}$ (m)	96
	$L_{WL}$ (m)	84,5
	B (m)	13,1
	T (m)	4,08
	$\Delta_{MAX}$ (Tn)	2265,3
	$V_{MAX}$ (kn)	25,9
	$C_p$	0,64

Tabla 3. Datos de nuestro buque proyecto. Fuente: propia.



## Capítulo 4. Pesos y volúmenes

Conociendo los datos del estudio del dimensionamiento ya podemos aproximar una primera distribución de los espacios a bordo, con sus pesos y volúmenes.

En una embarcación tipo corbeta típica, aproximadamente, la distribución de volúmenes es como sigue:

- Dotación: 25%-30%
- Propulsión: 15%-20%
- Electricidad: 5%-10%
- *Payload*<sup>8</sup>: 15%-25%

Para realizar una estimación del volumen total, este se puede descomponer en:

$$V_T = \nabla + 2\nabla + V_s$$

Donde,

$\nabla$  es el volumen de carena;  $2\nabla$  se estima el volumen entre la flotación y la cubierta superior; y  $V_s$  es el volumen de la superestructura.

---

<sup>8</sup> La *payload* es la carga útil, el equipo y almacenaje que lleva el buque para cumplir con sus requisitos operacionales

El volumen de las superestructuras habrán de estimarse de un buque patrón. Oscila entre un 12% y un 30% de VT.

En los buques de guerra el calado varía muy poco, por la naturaleza del tipo de buque, al no ser un buque de carga, la estiba y desembarco de grandes pesos no es constante.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	BUQUES SIMILARES	BUQUE PROYECTO	PESO (T)
1	Casco	45,9 %– 51,7 %	42%	937,86
2	Planta propulsora	11,0 %– 16,8 %	10%	223,3
3	Planta eléctrica	4,2 %–7,7 %	7%	156,31
4	Mando y control	2,7 %–5,0 %	3,5%	78,155
5	Sistemas auxiliares	14,2 %– 15,1 %	14,5%	323,785
6	Acomodación	8,9 %– 12,0 %	13%	290,29
7	Armamento	1,4 %–3,1 %	1%	22,33
$\Delta r$	Desplazamiento en rosca		91%	2032,03
8	Márgenes	5%	5%	111,65
9	Cargas variables	5%	4%	89,32
Total ( $\Delta$ )	Desplazamiento a plena carga incluidos márgenes	100%	100%	2233 t

Tabla 4. Descomposición de pesos de nuestro buque.

En la Tabla 4 se indica la descomposición de pesos de buques similares, así como los % de cada grupo sobre el total. Por lo que se refiere a márgenes, en la etapa de proyecto conceptual se puede adoptar un 5-10% para pesos, y un 10% en volúmenes (áreas de cubiertas).

Además se debe comenzar a considerar el margen de pesos para aumentos de rutina(0,5% anual: pintura, efectos, repuestos, etc.) y el margen de crecimiento futuro para modernizaciones, que debe especificar la Marina-Cliente, y es del orden del 5% del desplazamiento en rosca.

Para realizar estimaciones de pesos 'in crescendo", a partir de conocer las dimensiones principales y la potencia de la planta propulsora, el camino tomado ordinariamente es realizar dichas estimaciones, partiendo de los pesos de un buque patrón (de características similares). Está claro que habrá que contar con una estimación del peso de la carga útil del buque en proyecto.

## Capítulo 5. Diseño de las formas el casco

Partiendo de los datos obtenidos en el estudio del dimensionamiento y con apoyo en los buques recogidos en la base de datos, nos dispondremos a desarrollar el casco de nuestro buque proyecto.

Mediante el uso del programa de diseño *Rhinoceros*, y sus múltiples herramientas, generaremos el contorno del casco, a través de la unión del número de superficies pertinentes.

Se establecerá el sistema de coordenadas NSR, según marca la normativa *Lloyd's Register*. A la derecha con el eje X positivo hacia adelante, el eje Y positivo a babor y el eje Z positivo hacia arriba. Los movimientos angulares se consideran positivos en el sentido de las agujas del reloj alrededor de los ejes X, Y o Z.

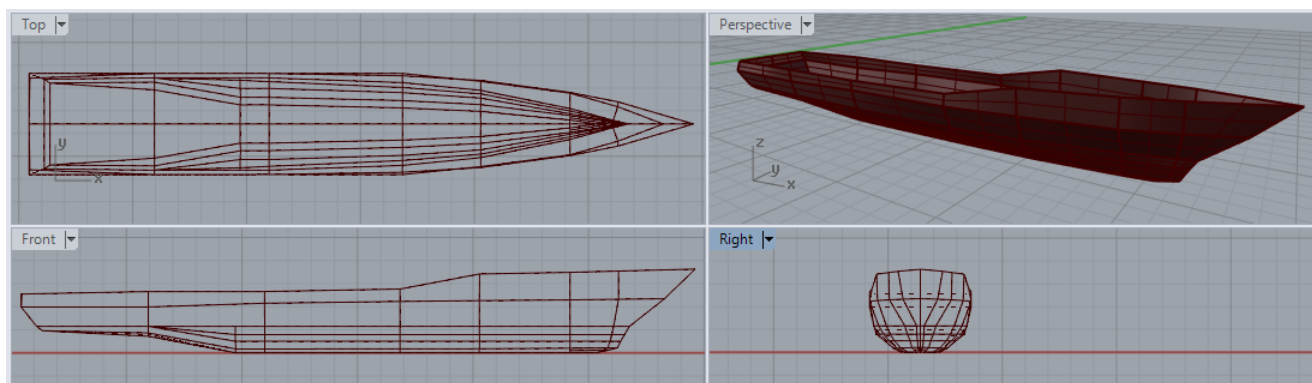


Figura 19. Vistas del modelo creado mediante superficies. Fuente: propia (Rhinoceros).

Una vez finalizado el modelo, exportaremos el archivo al programa de estudio naval *Maxsurf*, a partir del cual podremos trabajar el comportamiento de este en el agua.

En el momento de exportar el diseño, encontramos un seguido de problemas en las diferentes herramientas del programa como son: los ejes de coordenadas, la situación del origen, la correcta exportación de las superficies, la manipulación de estas en el nuevo programa y un seguido de sucesos que finalizan con el desarrollo de un nuevo modelo de patrullero obtenido a partir de la librería de modelos de *Maxsurf*.



Antes de efectuar la transformación de este nuevo modelo de casco se deben realizar una serie de pasos para asegurar una manipulación correcta de los datos por parte del programa. Entre estos pasos se deben desbloquear todas las superficies que posea el casco para que puedan ser modificadas. También deberán indicarse correctamente las líneas de referencia, como son el calado y la línea base.

A partir del nuevo modelo de patrullero, se da forma al mismo para la obtención de nuestro buque proyecto. Se configura los parámetros clave a partir de la herramienta *Parametric transformation*<sup>9</sup> hasta finalmente conseguir el dimensionamiento anteriormente estudiado, con un desplazamiento de 2.265 toneladas, una eslora en flotación de 84,5 metros, una manga de 13,1 metros<sup>10</sup> y un calado de 4,08 metros. El coeficiente prismático objetivo, según hemos estudiado anteriormente, será de  $C_p = 0,64$ .

---

<sup>9</sup> Transformación paramétrica.

<sup>10</sup> Para la manga en flotación estableceremos una anchura de 12,5 metros, para un calado de 4,08 metros.

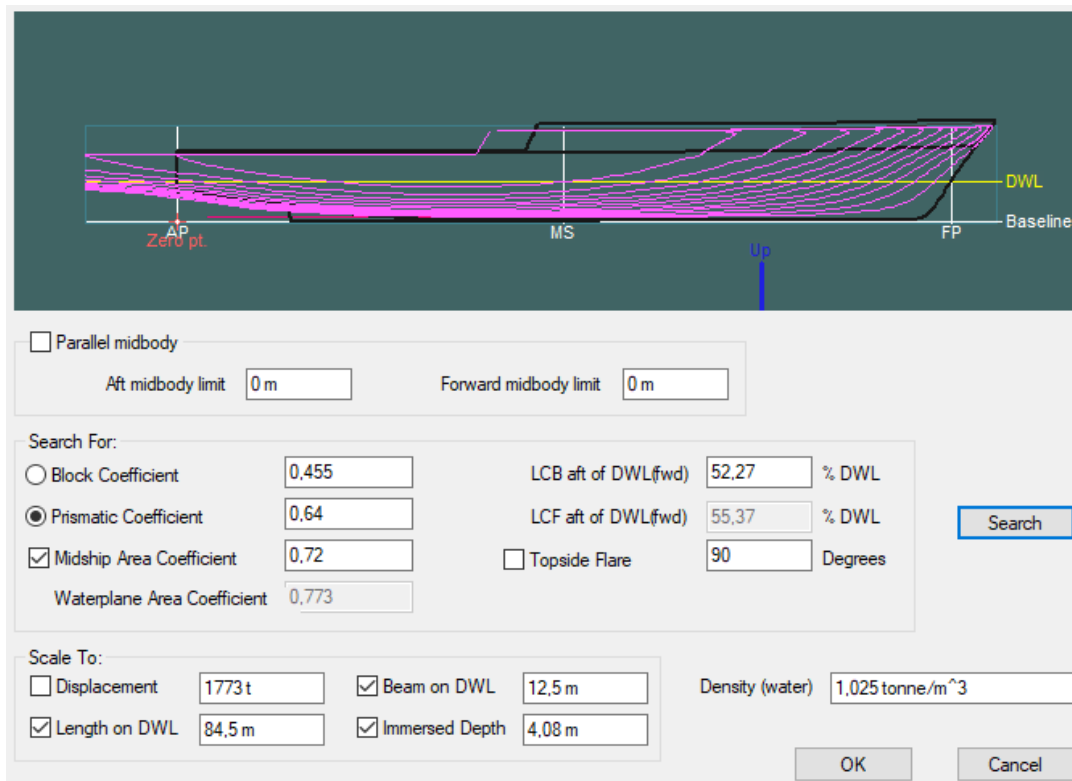


Figura 20. Transformación paramétrica del modelo. En negro las formas originales y en magenta las nuevas formas parametrizadas. Fuente: Propia (Maxsurf Modeler).

Una vez en la ventana de transformación, en el apartado de *Scale to* (escalar) dimensionaremos la eslora y manga en flotación y el calado, dejando libre el valor del desplazamiento, para posteriormente ajustarla. Esto es debido a que no es posible escalar los cuatro valores a la vez. La obtención del cuarto se conseguirá mediante los coeficientes de búsqueda, mediante el botón *Search* (buscar).

Como las formas de casco no permiten un buen ajuste de todos los parámetros simultáneamente se realizan diversos ajustes moviendo los diferentes puntos de control de las superficies para diseñar un casco acorde con lo comentado en el apartado: ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..***

Modelaremos, también, el costado del buque para reducir la firma por radar, minimizando de esta forma la detección por parte de otras embarcaciones y radares enemigos. Lo que se pretende evitar es la recepción directa de las ondas emitidas por el radar, desviándolas lo máximo posible y propagándolas en otra dirección. Esto se consigue dotando al buque de cierto ángulo en los costados respecto al plano de crujía, como podemos ver en la siguiente figura:6

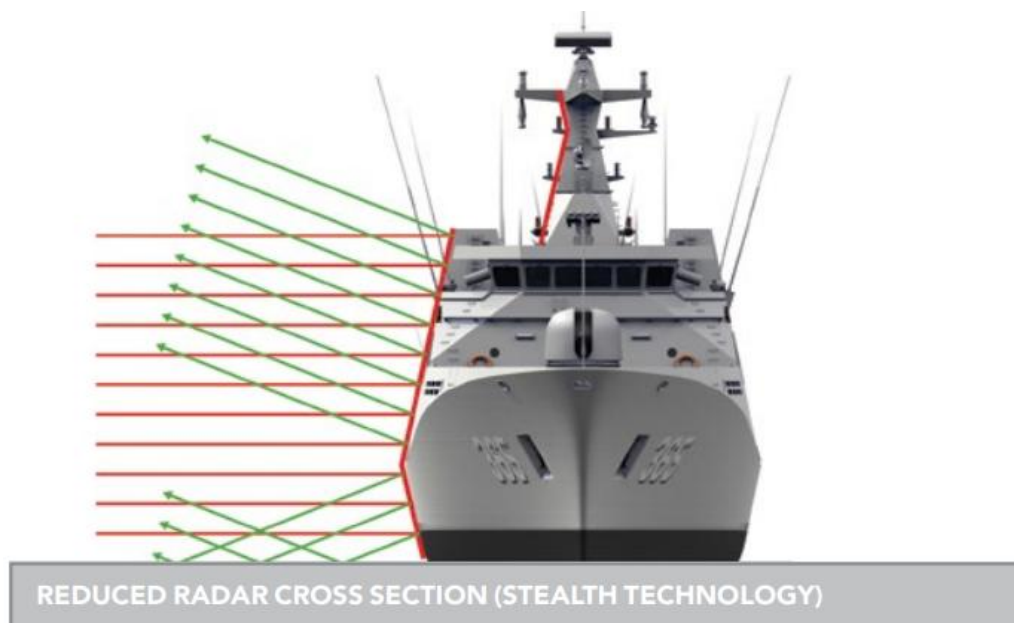
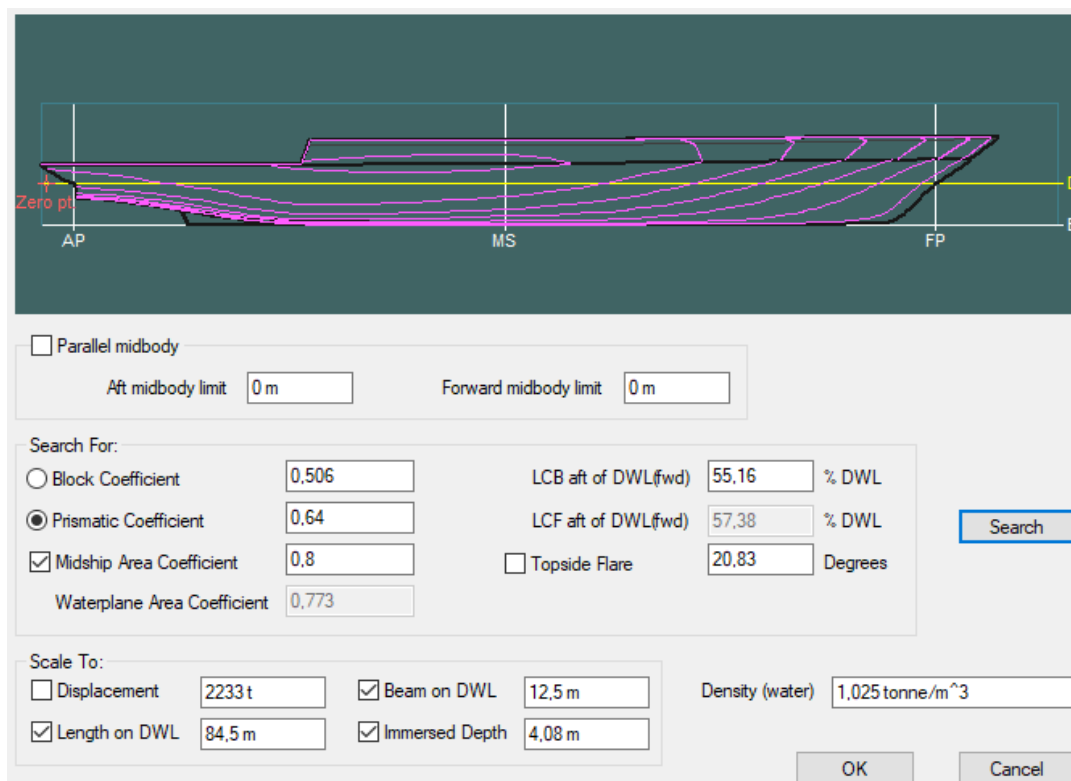


Figura 21. Diseño con reducción firma por radar. Fuente: *Damen Shipyards Group*.

Una vez realizada la transformación paramétrica y cambiado las formas se establecen de nuevo las líneas de referencia, para volver a tenerlas bien definidas. Además, deben confeccionarse el mallado de cuadernas, líneas de agua y otros elementos de diseño necesarios para el cálculo hidrostático.

También es momento de fijar la perpendicular de proa, ubicada en sentido vertical en el corte entre la línea de flotación y el canto de proa de la roda; y la perpendicular de popa, la cual estableceremos a 6m de  $L_{OA}$ , lugar donde se alojará la mecha del timón.





Figura

22. Transformación paramétrica final del buque. Fuente: propia (*Maxsurf Modeler*).

## 1. DATOS HIDROSTÁTICOS PRELIMINARES

Una vez definido por completo el casco, procedemos a calcular los datos hidrostáticos del buque para comprobar si los resultados obtenidos se acercan a los especificados en capítulos anteriores. Tomando como densidad del agua de mar  $1,025 \text{ t/m}^3$ , obtendremos la siguiente tabla de valores:

Measurements	Value	Units
Displacement	2233	t
Volume (displaced)	2178,411	m <sup>3</sup>
Draft Amidships	4,100	m
Immersed depth	4,080	m
WL Length	84,500	m
Beam max extents on WL	12,494	m
Beam on WL amidships	11,984	m
Wetted Area	1137,679	m <sup>2</sup>
Max sect. area	40,266	m <sup>2</sup>
Waterpl. Area	815,558	m <sup>2</sup>
Prismatic coeff. (Cp)	0,640	-
Block coeff. (Cb)	0,506	-
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,800	-
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,773	-
LCB length	34,917	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	33,075	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	41,322	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	39,143	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	2,510	m
KG fluid	4,100	m
BMt	3,775	m
BML	163,571	m
GMt corrected	2,185	m
GML	161,981	m
KMt	6,285	m
KML	166,081	m
Immersion (TPc)	8,359	Tonne/cm
MTc	44,353	Tonne•m
RM at 1deg = GMt•Disp • sin(1)	85,156	Tonne•m
Relación Length/Beam	6,763	
Relación Beam/Draft	3,062	
Relación Length/Vol <sup>0.333</sup>	6,518	

Tabla 5. Datos hidrostáticos en la DWL (con densidad de fluido 1,025 t/m<sup>3</sup>). Fuente: propia (Maxsurf Modeler).



Figura 23. Curva de áreas. Fuente: propia (Maxsurf Modeler).

Surface	3D true surface area [m <sup>2</sup> ]	LC area [m]	VC area [m]	I roll [m <sup>4</sup> ]	I pitch [m <sup>4</sup> ]	I yaw [m <sup>4</sup> ]	Lenght [m]	Width [m]	Depth [m]
Hull	1495,386	37,979	-1,487	29311,5 26	804250,46	823153,99	91,108	13,458	6,474
Topside 1	269,320	52,107	3,019	7837,66	119536,644	127177,59	93,629	13,458	2,595
Keel	32,773	16,559	-3,759	3,790	1308,118	1305,904	23,953	0,439	1,462
Keel end aft	0,558	8,026	-3,349	0,108	0,122	0,031	0,702	0,439	1,462
Main deck aft	338,134	8,220	2,107	4239,32	21010,428	25151,572	26,217	13,104	2,300
Topside 2	64,771	51,680	4,202	1855,12	22791,653	24641,455	67,587	12,617	0,869
Weather deck	658,834	48,378	4,413	6680,36	195304,45	201969,77	67,413	12,416	0,386
Keel end fwd	0,000	48,885	-1,366	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total Above DWL 3D true surface area	1722,097	39,944	2,971	34552,5	1063142,58	1090764,4	93,630	13,458	8,767
Total Below DWL 3D true surface area	1137,679	35,674	-2,425	15194,9	540344,039	552101,05	93,630	13,458	8,767
Total 3D true surface area	2859,776	38,246	0,824	69689,5	1635914,96	1655351,7	93,630	13,458	8,767

Tabla 6. Áreas de superficies, bajo y sobre la línea de flotación. Fuente: propia (Maxsurf Modeler).



## 2. VALIDACIÓN Y EXPORTACION

Como se puede apreciar, el desplazamiento obtenido después de las múltiples parametrizaciones y cambios en la forma del buque, únicamente varía en 32,3 t. Por lo que consideremos la transformación como satisfactoria., con un error cometido de:

- Desplazamiento objetivo: 2265,3 t
- Desplazamiento obtenido: 2233 t

**Error: 0,14%**

Una vez validadas las formas del casco y, por tanto, dando por bueno el modelo de buque obtenido se procede a exportar la superficie en formato .3dm para más tarde poder añadirle cubiertas y superestructuras necesarias en el programa de edición de superficies *Rhinoceros*<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Para exportar el archivo se abre la pestaña *File/Export/Rhinoceros* (.3dm).



# Capítulo 6. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA

## 1. FUNDAMENTOS PARA LOS CÁLCULOS DE RESISTENCIA AL AVANCE

Existen un número de métodos basados en regresiones y un método analítico para la predicción de potencia. En arquitectura naval es normal dividir la resistencia en componentes que responden a diferentes leyes. *Maxsurf Resistance* puede calcular las diferentes componentes de la resistencia en forma de coeficientes.

La resistencia que ofrece un casco al avanzar por el agua puede desglosarse en dos componentes, según el enfoque de Froude:

**-Resistencia de fricción:** Es la suma de todas las componentes longitudinales de los esfuerzos cortantes actuando sobre la superficie del casco. Es debido a la viscosidad.

**-Resistencia residual:** Es la suma de las presiones desarrolladas por el empuje del agua durante el avance. Es debido a la presión de origen viscoso (forma del casco) y la formación de olas.

Este enfoque, en los modelados de resistencia de buques en canales de ensayo, reconoció en primer lugar que la resistencia residual de un modelo podía escalarse para dar con la del buque a escala normal, utilizando el principio de similitud de Newton.

Estipuló que la resistencia producida por la formación de olas dependía únicamente del nº de Froude:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} \quad (22)$$

Donde, V es la velocidad del casco, g la aceleración de la gravedad, y  $L_{WL}$  la eslora en la línea de flotación.

La resistencia de fricción, sin embargo, sigue sus propias leyes y no puede tratarse de la misma manera. En vista de esto, Froude desarrolló una aproximación empírica a partir de un estudio con placas planas.

Así, determinada la resistencia de fricción de un modelo, se sustrae de la resistencia total obtenida en el canal de ensayo para obtener la residual. Esta última es escalada para el barco en tamaño real, y la resistencia de fricción calculada empíricamente se añade para dar con la resistencia total del casco.

La resistencia de fricción, influenciada por la viscosidad, depende únicamente del nº de Reynolds:

$$Rn = \frac{\rho \cdot V \cdot L_{WL}}{\nu} \quad (23)$$

Donde,  $\rho$  es la densidad del fluido,  $V$  es la velocidad del casco,  $L_{WL}$  la eslora en la línea de flotación y  $\nu$  la viscosidad dinámica.

## 2. MAXSURF RESISTANCE

*Maxsurf Resistance* permite calcular la predicción de potencia del casco de un buque.

Para unos datos entrados, el programa *Maxsurf* estimará la resistencia al avance mediante diferentes métodos para un rango de velocidades dado. Los resultados son representados en forma tabular y gráficamente.

Además de estimar la resistencia al avance, el software puede generar el patrón de olas creado por el buque para una velocidad dada.

Cabe destacar que la predicción de potencia no es una ciencia exacta y que los algoritmos implementados en este programa, aunque son útiles para la estimación de resistencia al avance de un casco, no darán resultados exactos.

### 2.1.DATOS DE REFERENCIA

En primer lugar, se define el fluido que se considera en todos los cálculos a realizar en el presente capítulo. Este será agua salada a 15°C con unos valores dados por la ITTC57 los cuales se definen a continuación:

- Salinidad: 3,5%
- Densidad ( $\rho$ ): 1.025,9 kg/m<sup>3</sup>
- Viscosidad cinemática ( $\nu$ ): 1,1883 · 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s



-Viscosidad dinámica ( $\mu$ ):  $1,22 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

Además, se tendrán en cuenta los siguientes valores de propiedades medioambientales:

- Gravedad ( $g$ ):  $9,81 \text{ m/s}^2$

La acción del aire, para este proyecto, se considera despreciable frente a la importancia de la resistencia al avance generada por el agua. El alcance de este se centra en la interacción entre el casco y el fluido por el que se desplaza.

Para el estudio de la resistencia al avance se establece un calado de 4,1 m para tener un margen en la capacidad de carga y los posibles efectos provocados por el oleaje sobre el casco y así calcular un caso más desfavorable.

## 2.2. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA

Importadas las formas del buque al programa, se seleccionan los métodos de estudio a través de los cuales se estudiara la resistencia y potencia necesaria para la propulsión de la embarcación. En función de las características de nuestro buque, elegimos los parámetros que más se adecuen. En este caso *Holtrop* y *Slender Body*, como se indica en la siguiente figura:

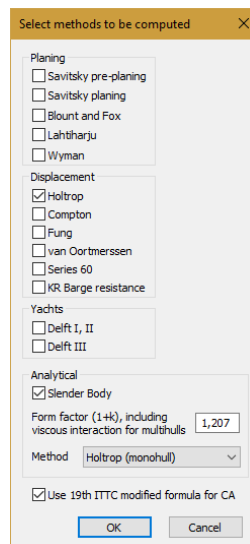


Figura 24. Selección del método de propulsión. Fuente: propia (*Maxsurf Resistance*).

## HOLTROP Y MENNEN

Entre 1978 y 1984, J. Holtrop, en colaboración con G.G.J. Mennen, publicó diversas versiones mejoradas del procedimiento original. La compleja formulación del método ha sido elaborada



efectuando análisis de regresión de una muestra básica constituida por 1707 ensayos de remolque y 1287 ensayos de autopropulsión.

La correlación entre las predicciones y la realidad ha sido establecida analizando más de un centenar de pruebas de velocidad a bordo de unos 60 buques de nueva construcción. El rango de aplicación de este método se presenta en la Tabla. La predicción de la resistencia de remolque por el método que nos ocupa se basa en el procedimiento tridimensional de Hughes, utilizando la línea básica de fricción de la ITTC.

CARACTERÍSTICAS	Mínimo	Patrullero	Máximo
$F_n$	0,0	0,44	0,45
$C_p$	0,55	0,64	0,85
LWL/B	3,9	6,45	9,5

Tabla 7. Límites de aplicación del método de *Holtrop y Mennen*. Fuente: propia (J.Holtrop y G.J.Mennen)

Una vez validado la posibilidad de empleo del método de Holtrop y Mennen por estar dentro de los parámetros de uso, emplearemos la herramienta de diseño Maxsurf Resistance para obtener el comportamiento de la embarcación en el medio marino.

A continuación se configurara el programa para que represente los resultados de la forma deseada, para velocidades desde 0 kn a 26 kn, en nuestro caso.

Del programa, obtendremos la curva de resistencia del buque para las diferentes velocidades<sup>12</sup>, la curva de potencia necesaria para el remolque de la embarcación a las diferentes velocidades<sup>13</sup> y una tabla donde se tabulan las dos graficas anteriores<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> Ver Figura 25. Curva Resistencia-Velocidad.

<sup>13</sup> Ver Figura 26. . Curva Potencia-Velocidad.

<sup>14</sup> Ver Tabla 8. Resultados de resistencias *Holtrop*.



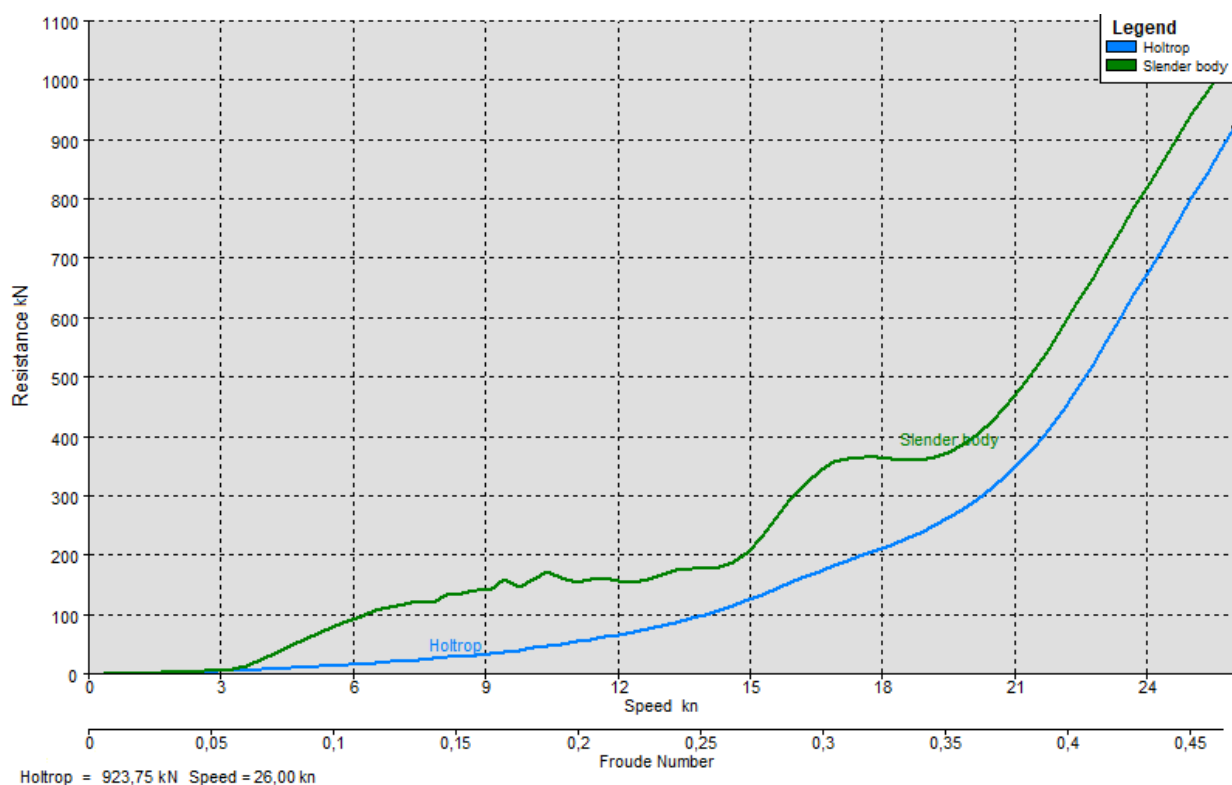


Figura 25. Curva Resistencia-Velocidad. Fuente: propia (Maxsurf Resistance).

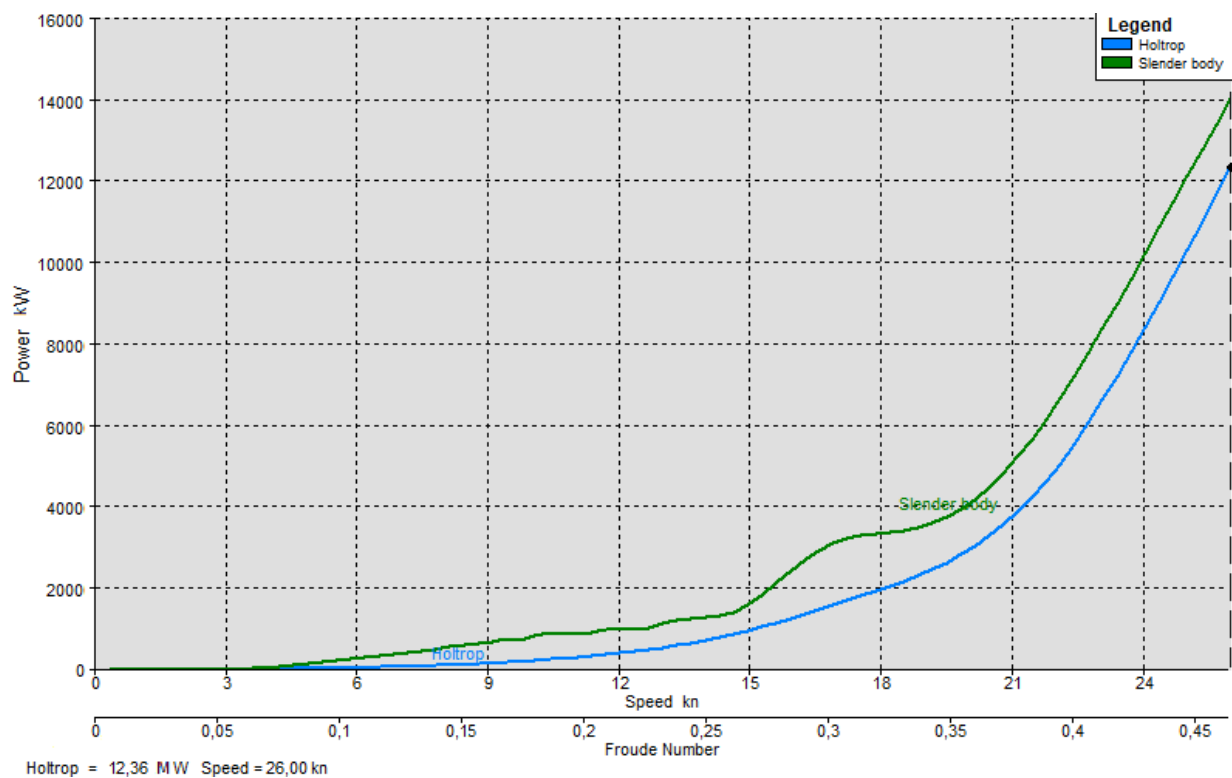


Figura 26. Curva Potencia-Velocidad. Fuente: propia (Maxsurf Resistance).



	Speed (kn)	Froude Nº LWL	Holtrop Resist. (N)	Holtrop Power (W)
1	0,000	0,000	--	--
2	0,650	0,012	237,60	79,45
3	1,300	0,023	867,03	579,85
4	1,950	0,035	1854,24	1860,11
5	2,600	0,046	3183,70	4258,38
6	3,250	0,058	4845,33	8101,13
7	3,900	0,070	6831,75	13706,77
8	4,550	0,081	9137,27	21387,81
9	5,200	0,093	11757,86	31453,57
10	5,850	0,105	14692,53	44217,18
11	6,500	0,116	17946,67	60011,68
12	7,150	0,128	21536,96	79218,93
13	7,800	0,139	25496,86	102310,40
14	8,450	0,151	29881,10	129894,81
15	9,100	0,163	34768,10	162764,91
16	9,750	0,174	40259,87	201936,79
17	10,400	0,186	46479,93	248677,93
18	11,050	0,197	53565,69	304500,10
19	11,700	0,209	61687,14	371294,89
20	12,350	0,221	71003,50	451112,83
21	13,000	0,232	81493,47	545010,24
22	13,650	0,244	93356,39	655564,10
23	14,300	0,256	107432,11	790330,28
24	14,950	0,267	124462,35	957233,01
25	<b>15,600</b>	<b>0,279</b>	<b>143898,76</b>	<b>1154835,52</b>
26	16,250	0,290	163803,00	1369347,61
27	16,900	0,302	182419,81	1585978,12
28	17,550	0,314	199732,91	1803288,55
29	18,200	0,325	217361,66	2035133,02
30	18,850	0,337	237536,96	2303461,91
31	19,500	0,348	262421,52	2632525,24
32	20,150	0,360	293958,23	3047187,36
33	20,800	0,372	333884,17	3572709,06
34	21,450	0,383	383659,46	4233618,19
35	22,100	0,395	444269,32	5050996,65
36	22,750	0,407	519383,98	6078668,13
37	23,400	0,418	599716,92	7219392,27
38	24,050	0,430	680321,32	8417199,91
39	24,700	0,441	761196,56	9672355,53
40	25,350	0,453	842342,05	10985123,1
41	<b>26,000</b>	<b>0,465</b>	<b>923757,21</b>	<b>12355765,8</b>

Tabla 8. Resultados de resistencias *Holtrop*. Fuente: propia (*Maxsurf Resistance*).

## Capítulo 7. INSTALACIÓN PROPULSORA

Una vez estudiado la resistencia que opone el buque a la navegación a las diferentes propulsiones se estudian las diferentes posibles soluciones para la instalación de la planta propulsora.

Los buques de guerra operan bajo lo que se denomina su perfil operacional (Figura 27.). En este diagrama se representan las velocidades a las que operará el buque respecto a la cantidad de tiempo en servicio activo que empleará en navegar a las diferentes velocidades.

Cada Armada genera un propio perfil operacional secreto que se emplea para definir una configuración diferente y exclusiva. Estas diferencias se dan en aspectos como la resistencia mecánica de las palas de la hélice o las hélices, el gasto de combustible anual del buque o los días de navegación y fondeo en arsenales.

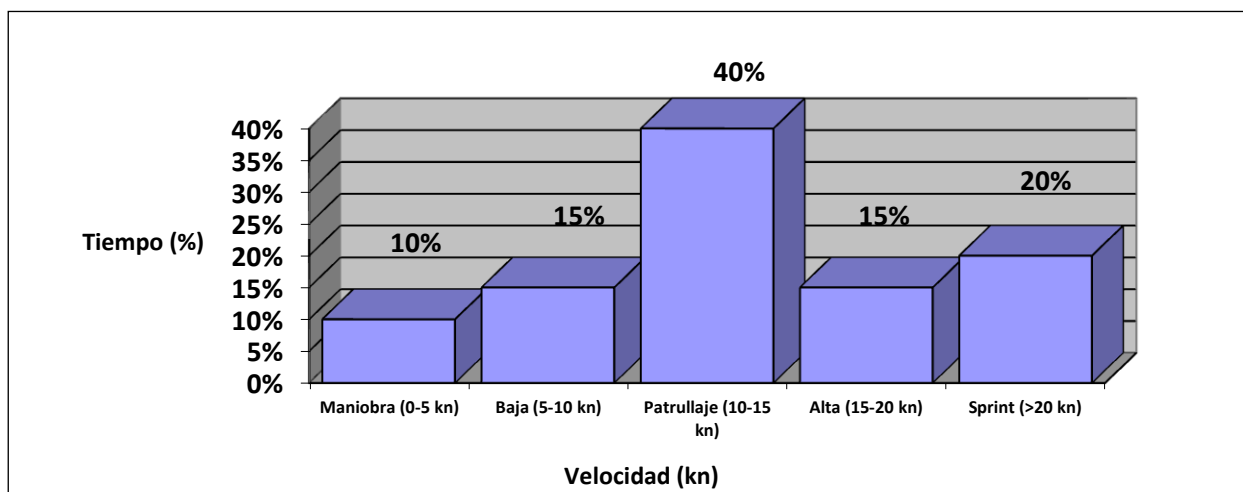


Figura 27. Perfil operacional de un OPV. Fuente: Própia.

No obstante, se puede observar que el diagrama incluye un pequeño porcentaje para la navegación a la velocidad punta o máxima; un alto porcentaje para la velocidad de crucero o patrullaje; otra cantidad de tiempo para velocidades medias, y lo que resta, será tiempo empleado en puerto.

El buque de guerra moderno posee una velocidad máxima que utiliza usualmente para cambiar de escenario o acudir a uno determinado desde su puerto de fondeo. Antes de la era de los misiles, la velocidad máxima se utilizaba para evadirse de una amenaza, para atacar a una flota enemiga en plan sorpresa y huir a continuación (caso de los pequeños buques torpederos). Estos pequeños buques, en los que la alta velocidad era complemento esencial a su acción letal, llegaron a tener velocidades punta del orden de 40 nudos.

En la actualidad, los buques tipo corbeta y fragata han disminuido su velocidad máxima de algo más de treinta nudos. La tendencia a elevar su tamaño, conlleva a limitar la velocidad punta, dado que ésta se deducirá de la combinación de:

- Potencia propulsora disponible
- Desplazamiento
- Dimensiones y grado de finura de la carena.

La velocidad de crucero es la que ordinariamente se utiliza para maniobras ya sea por la flota de cada país o en conjunto con otras flotas. En algunos momentos de las maniobras se pueden utilizar velocidades intermedias entre la de crucero y la máxima. Existe consenso universal en que la autonomía o radio de acción de los buques se especifiquen a esta velocidad de crucero. Los buques tipo corbeta y fragata tienen una velocidad de crucero que oscila en la banda 18-21 nudos.

Realizada esta aproximación a la velocidad, cabe añadir que la planta propulsora moderna es una planta combinada, es decir, que cuenta con elementos propulsores segregados que, en régimen de utilización total o parcial, permiten hacer frente a los diversos requerimientos de velocidad operacional que posee el buque de guerra.

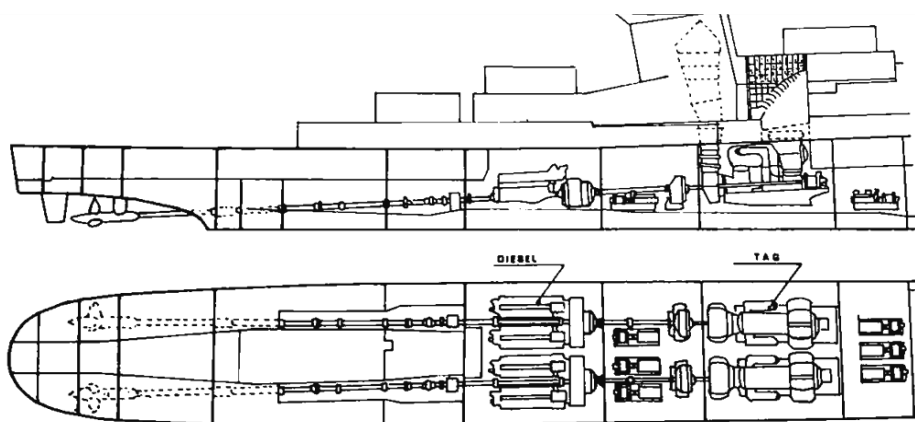


Figura 28. Esquema de la instalación de la planta motriz CODAG de las fragatas alemanas de la clase Köln. Fuente: La Marina Historia: De Trafalgar a nuestros días (Volumen 6). Editorial Delta, S.A., Barcelona, 1983.



## 1. SISTEMA PROPULSIVOS COMBINADOS

Las instalaciones mixtas más usadas en la industria naval para la propulsión son las siguientes:

- COSAG: combinación de vapor y turbina de gas.
- CODAG: combinación de diésel y turbina de gas.
- CODOG: combinación de diésel o turbina de gas.
- COGAG: combinación de turbina de gas y turbina de gas.
- COGOG: combinación de turbina de gas o turbina de gas.
- CODAD: combinación de diésel y diésel.
- CODLAG: combinación de diésel-eléctrica y turbina de gas.

Para la selección de la configuración de la planta propulsiva de nuestro patrullero, nos basaremos en la necesidad de poder generar una rápida respuesta propulsiva de la mano de una gran magnitud de esta misma. Para lograr dicha energía, requieren el empleo de una turbina de gas.

Además de poder ser utilizadas como única unidad propulsiva, las turbinas de gas<sup>15</sup> se usan en diferentes tipos de propulsiones mixtas, es decir, en combinación con otras unidades propulsivas. Estos sistemas se benefician de las ventajas de los diferentes motores, suministrando también cierta flexibilidad operativa.

Dada las características de demanda propulsiva necesarias para este tipo de embarcaciones, las alternativas de propulsión más empleadas para estas son las siguientes configuraciones:

### 1.1. CODAG

CODAG, significa turbina de gas y diésel de ciclo combinado. El motor diésel se usa en operación de baja potencia y la turbina de gas funciona cuando se necesita alta potencia.

---

<sup>15</sup> Ver Anexo 2. LAS TURBINAS DE GAS

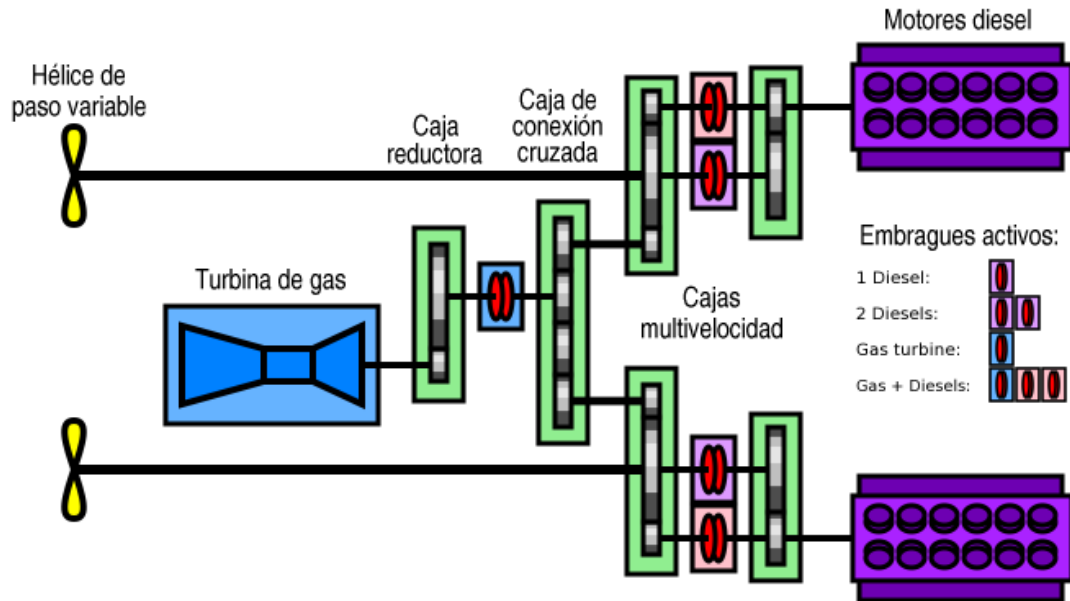


Figura 29. Sistema CODAG. Fuente: Wikipedia.

## 1.2. CODOG

En estos sistemas combinados de turbinas de gas o diésel, cada hélice tiene un motor diésel y una turbina de gas conjunta para las altas revoluciones de estas. La turbina de gas o el motor diésel solo pueden funcionar por separado debido a la sencilla disposición de los engranajes. Esto requiere una turbina de gas más grande para la misma demanda de potencia máxima. En general, se utiliza en buques militares, los cuales necesitan una velocidad punta mucho más altas que su velocidad de crucero.

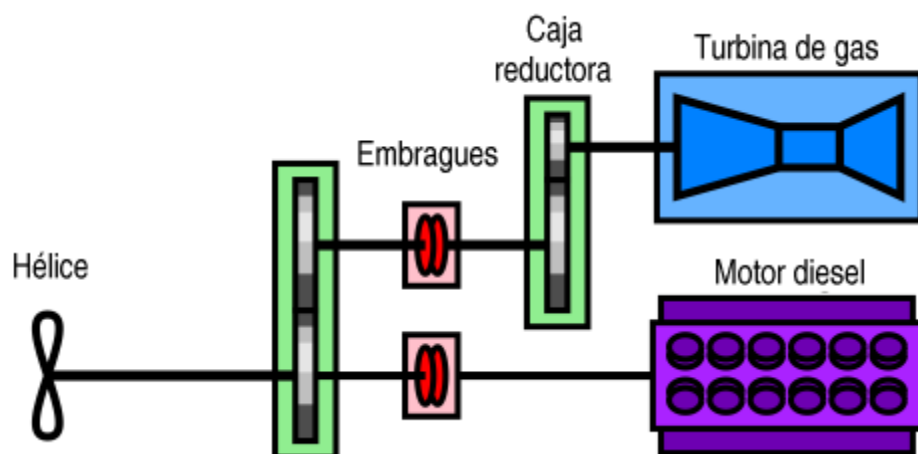


Figura 30. Sistema CODOG. Fuente: Wikipedia.

## 2. DISPOSICIÓN PLANTA PROPULSORA

Para ambas alternativas, los espacios de máquinas considerados tienen las mismas dimensiones y distribución:

- Cámara de Máquinas de Proa, donde se instalarán la Turbina de Gas y dos Diésel Generadores.
- Cámara del Engranaje Reductor.
- Cámara de Máquinas de Popa, donde se instalarán los dos Motores Diésel Propulsores.
- Cámara de Diésel Generadores, donde se instalarán dos Diésel Generadores.

La planta propulsora consta de dos hélices de paso controlable accionadas cada una por su línea de ejes acopladas al engranaje reductor.

La disposición de la planta propulsora se muestra a continuación, para ambas alternativas CODAG y CODOG:

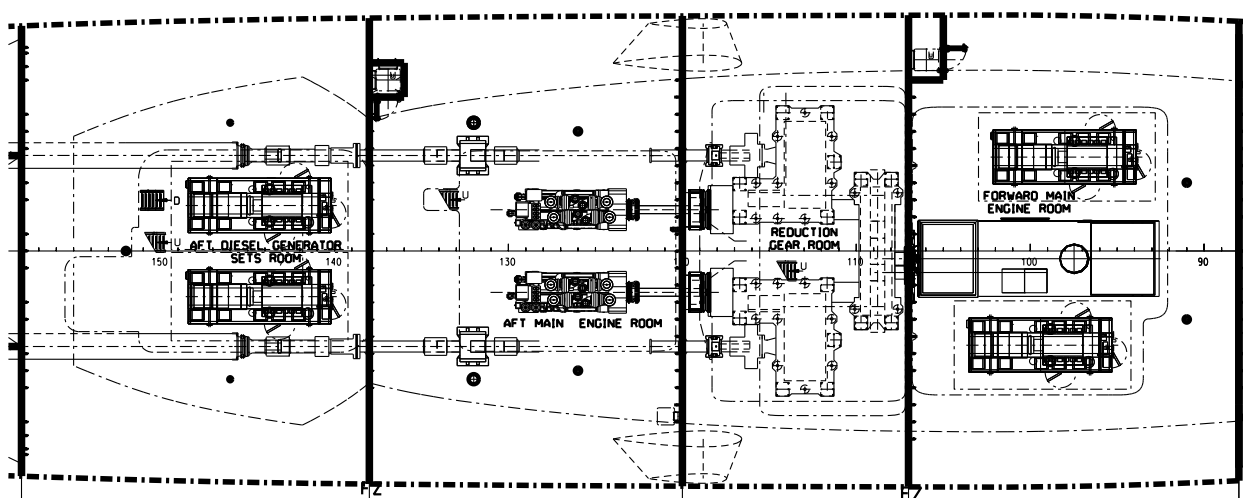


Figura 31. Disposición CODAG/CODOG.

### 2.1. DIÉSEL GENERADORES

Para ambas alternativas la potencia eléctrica necesaria es la misma, por lo que se han utilizado los mismos Diésel Generadores, en este caso se han seleccionado los MTU 12V 396TE54 encapsulados de unos 1200 kW de potencia.

A bordo se instalarán cinco, cuatro en la sala de máquinas y un quinto de emergencia en la superestructura, sobre la cubierta resistente, para que pueda ser accionado en caso avería.

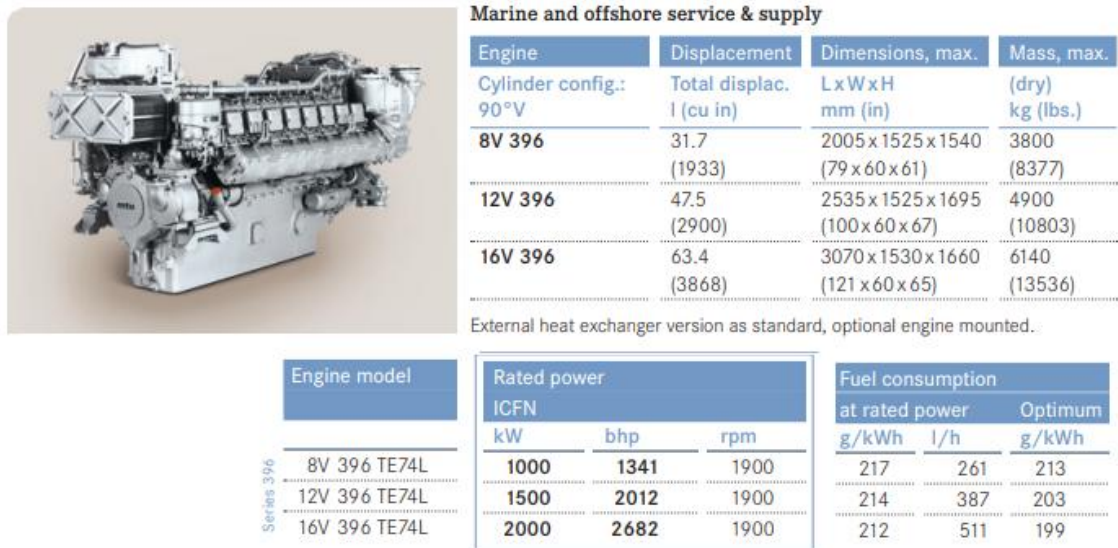


Figura 32. Ficha técnica MTU 396 series. Fuente: MTU.

## 2.2. ENGRANAJE REDUCTOR

En la alternativa CODOG, el reductor está compuesto por un reductor primario y dos reductores secundarios. El reductor primario tiene una entrada para la turbina de gas y dos salidas que lo conectan con los reductores secundarios. Cada reductor secundario tiene una entrada procedente del reductor primario y una entrada para el motor diésel propulsor con una sola reducción de engrane (modo diésel) y con una salida para acoplar la línea de ejes respectiva.

En el modo CODOG trabajan por separado los motores propulsores y la turbina de gas. La turbina de gas desarrolla su alta potencia a altas revoluciones por medio del reductor primario y los secundarios. Cuando se navega en modo crucero, los reductores secundarios aportan la relación de reducción adecuada entre los motores propulsores y la línea de ejes.

En la Figura 33. se muestra una disposición del reductor para la alternativa CODOG.

Para la obtención de la reductora, confiaremos en la empresa RENK, la cual diseña y suministra reductores para buques rápidos y marina de guerra, para distintas alternativas de propulsión: CODAG, CODELAG, CODAD, etc.

Cada reductor de combinación deberá ser de doble entrada simple, salida y conectar las entradas del diésel y de la turbina de gas al eje de salida de conexión a su reductor de reparto. Debe disponer de dos escalones de reducción: de alta y de baja. Los diferentes modos se ejecutarán gracias a tres embragues: uno SSS de auto sincronización y dos de fricción para las velocidades alta y baja, la primera para el modo CODAG y la segunda para el modo de propulsión diésel.



Cada reductor de reparto está provisto de un embrague de fricción lo que permite transmitir la potencia de la unidad propulsora, bien a cualquiera de los dos chorros o a ambos simultáneamente.

El montaje de los reductores es semi-elástico con objeto de minimizar la emisión de ruido estructural. El requisito de minimización de peso obliga a la adopción de diversas medidas, como, por ejemplo: llantas de las ruedas aligeradas, parte superior de la carcasa de aluminio, dentado tipo simple helicoidal y cárter seco. El requisito de aligeramiento de las líneas de ejes, se cumplimenta utilizando en lugar de ejes de acero, ejes de *composites* o fibra de carbono, chumaceras de rodillos, etc.

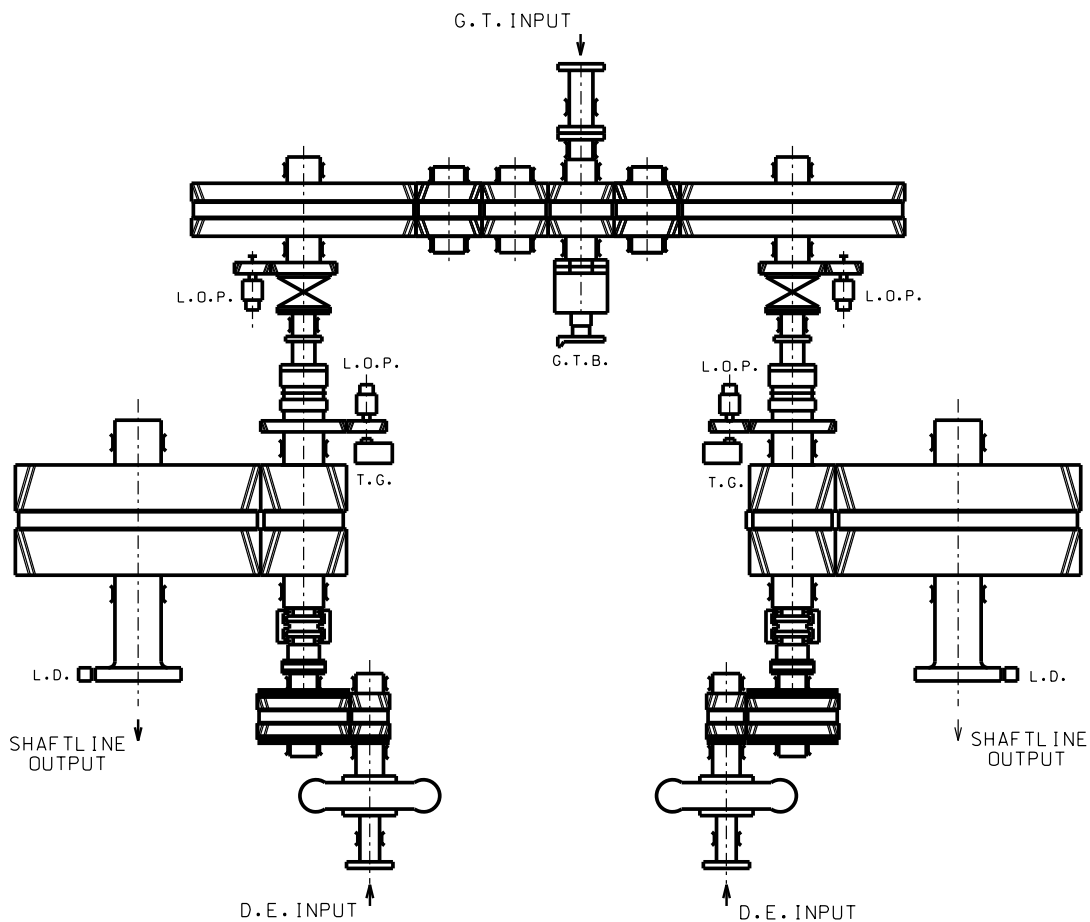


Figura 33. Reductor CODOG.

### 2.3. LÍNEAS DE EJES

Para ambas alternativas de propulsión se instalaran dos líneas de ejes.

Cada línea de ejes constará de una hélice de paso controlable, un eje de cola, un eje de bocina y dos ejes intermedios. Entre el eje de cola y el eje intermedio se instalará el actuador hidráulico de la hélice y entre los ejes intermedios se instalará la chumacera de empuje.

### **3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES**

A continuación se hace una breve descripción de los sistemas auxiliares de la propulsión, en los cuales no existen diferencias entre ambas alternativas con las excepciones derivadas del indicado cambio de la turbina de gas con diferente potencia entre CODAG y CODOG.

#### **3.1. SISTEMAS DE AIRE DE COMBUSTIÓN**

El aire de combustión de la turbina de gas, de los motores diésel propulsores y de los diésel generadores se suministrará directamente desde el exterior a través de conductos a cada uno de ellos. Se instalarán los filtros, silenciosos y el resto de equipos necesarios en dichos conductos para el correcto funcionamiento de la instalación según los requisitos de los fabricantes.

Las diferencias entre ambas alternativas (CODAG/CODOG) en lo que respecta a este sistema es el tamaño del conducto de admisión de la turbina de gas por ser de diferente potencia en cada alternativa.

#### **3.2. SISTEMAS DE CIRCULACIÓN Y REFRIGERACIÓN DE AGUA SALADA**

Al ser los motores diésel propulsores y los diésel generadores instalados los mismos en ambas alternativas y el engranaje reductor disponer de una potencia total similar, este sistema es idéntico en ambas alternativas, hay que tener en cuenta que la turbina de gas no requiere de alimentación por este sistema.

La función de este sistema es suministrar agua de mar a temperatura ambiente para los sistemas de refrigeración de los motores diésel de propulsión y los grupos diésel-generadores de servicio del buque, y para la refrigeración del aceite de lubricación de los engranajes reductores y chumaceras de empuje y el aceite hidráulico de las hélices de paso regulable.

Cada motor diésel propulsor incorporará su propia bomba arrastrada de circulación de agua salada, la cual aspirará a través de un filtro doble de un colector de agua de mar dispuesto en su propia cámara y descargará, después de pasar por los diferentes enfriadores del motor, a través de una descarga al mar independiente.

La circulación con agua salada a las chumaceras de empuje y a los obturadores y cojinetes de bocina se proveerá desde el sistema de circulación de agua salada del engranaje reductor correspondiente.



### 3.3. SISTEMAS DE EXHAUSTACIÓN

Como ocurre en el sistema de aire de combustión, el cambio de Turbina de Gas supone una variación en el tamaño del conducto de exhaustación entre ambas alternativas debido a la potencia que desarrolla.

En el caso de los motores diésel, tanto propulsores como diésel generadores, el sistema se compone de conducto de exhaustación, un silencioso y un Sistema de Supresión de Firma Infrarroja (IRSS). El sistema IRSS se compone de un eyector difusor en cada una de las exhaustaciones de los motores diésel.

Para la Turbina de Gas el sistema estará compuesto por conducto de exhaustación y un Sistema de Supresión de Firma Infrarroja (IRSS), compuesto por un eyector difusor a la salida de los gases de escape al exterior.

### 3.4. SISTEMAS DE COMBUSTIBLE

En cada Cámara de Máquinas Principal, serán instalados dos tanques en el doble fondo interconectados y con una capacidad correspondiente a seis horas de funcionamiento a plena potencia de los equipos instalados en dicha cámara.

En la Cámara de Diésel Generadores de Popa, los tanques de servicio de combustible serán tanques altos y con una capacidad correspondiente a seis horas de funcionamiento a plena potencia de los Diésel Generadores instalados en dicha Cámara.

Las diferencias de este sistema entre ambas alternativas (CODAG/CODOG) serán las características de los equipos de alimentación de combustible a la turbina de gas por ser estas de distintas potencias.

La función del sistema de servicio de combustible es suministrar combustible desde los tanques de servicio a las máquinas propulsoras y a los grupos diésel-generadores en las condiciones especificadas por los fabricantes.

### 3.5. SISTEMAS DE LUBRICACIÓN DE LA PROPULSIÓN PRINCIPAL

Los sistemas de lubricación de ambas alternativas de propulsión CODAG/CODOG pueden considerarse idénticos.



La función del sistema de aceite lubricante es el acondicionamiento del aceite de lubricación para las máquinas propulsoras, grupos diésel-generadores, engranajes reductores, chumaceras de empuje y sistema hidráulico de las hélices de paso regulable. El tipo de aceite lubricante disponible en cada equipo será el recomendado por su fabricante.

El sistema de lubricación de la turbina de gas estará incorporado en las propias unidades de turbinas de gas y estará compuesto por elementos integrados en el módulo de la turbina y un módulo de aceite independiente.

El sistema de lubricación de los motores diésel propulsores y diésel generadores estará incorporado en los propios motores diésel. Cada motor diésel dispondrá de un equipo de prelubricación y precalentamiento, si es requerido.

El sistema de aceite de lubricación del engranaje reductor suministrará aceite para la refrigeración y lubricación del reductor y servirá, además, de refrigerante para el aceite sintético de la turbina. La refrigeración del aceite del reductor se efectuará por medio de un intercambiador de calor aceite/agua salada.

El aceite para componentes de la unidad de propulsión tales como virador, acoplamientos y embragues, será suministrado desde el sistema de servicio del engranaje reductor.

El sistema de lubricación de las chumaceras de empuje estará incorporado en las propias chumaceras.

### **3.6. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN AUXILIAR DE AGUA DULCE**

La función de este sistema es suministrar agua dulce para la refrigeración de los motores diésel de propulsión y los grupos diésel generadores. Cada motor diésel incorporará su propio sistema de agua dulce de refrigeración.

Para el arranque en frío cada motor diésel dispone de un equipo de precalentamiento compuesto por una electrobomba y un calentador eléctrico.



## 4. POTENCIAS DE LOS PROPULSORES

Dentro de la unidad propulsiva del buque encontramos diferentes partes: el motor, encargado de convertir la energía del combustible en energía cinética; la transmisión, encargada de reducir las revoluciones del motor para entregarlas al eje; el eje, se compromete a trasladar estas revoluciones a la hélice; y esta última se encarga de propulsar el buque mediante el paso y las revoluciones.

Cada uno de estos puntos de la propulsión tiene su propia potencia, la cual podemos calcular a partir de los rendimientos ocasionados en el paso de la energía a través de cada uno de ellos.

- IHP (*Indicated Horsepower*): Potencia indicada, del ciclo térmico del motor.
- BHP (*Brake Horsepower*): Potencia al freno es la potencia del motor, medida en el acoplamiento del motor al eje (por medio de un freno).
- SHP (*Shaft Horsepower*): Potencia en el eje es la potencia transmitida a través del eje (medida con un torsiómetro tan cerca de la hélice como sea posible).
- PHP (*Propeller Horsepower*): Potencia entregada a la hélice es la potencia entregada a la hélice (descontando las pérdidas en el eje de la anterior).
- EHP (*Effective Horsepower*): Potencia efectiva o de remolque, es la potencia que realmente se emplea en mover el barco o la potencia que sería necesario emplear para remolcar el barco a la velocidad de proyecto .

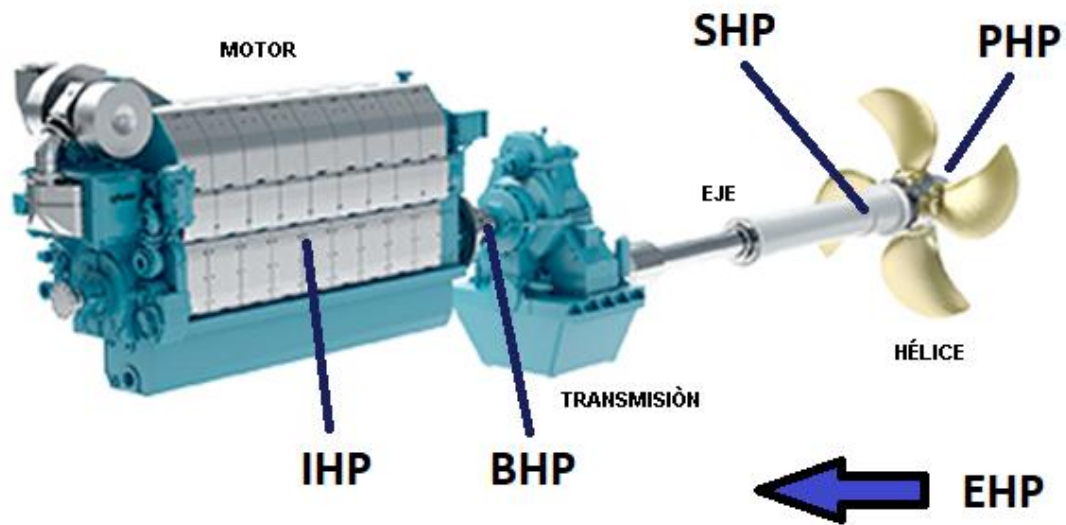


Figura 34. Potencias en las diferentes partes de la unidad propulsiva. Fuente: El Maquinante (con modificación propia).

#### 4.1. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA MAXIMA GENERADA

##### 4.1.1. POTENCIA ENTREGADA A LAS HÉLICES (PHP)

La potencia entrega a la hélice (PHP) es la potencia que recibe directamente la hélice. No es medible ya que habría que instalar un torsiómetro en el exterior del buque. Por eso partiendo de la potencia necesaria para propulsión del buque (EHP), obtenida del programa *Maxsurf Resistance*<sup>16</sup>, y mediante el rendimiento propulsivo, se puede estimar la PHP como:

$$PHP = EHP / \eta_p$$

El rendimiento propulsivo ( $\eta_p$ ) solamente tiene en cuenta elementos hidrodinámicos y se define como:

$$\eta_p = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_R$$

Siendo:

- $\eta_p$ : Rendimiento propulsivo.

<sup>16</sup> Ver Figura 26. de potencias de Holtrop.



- $\eta_H$  Rendimiento hidrodinámico del casco.
- $\eta_0$ : Rendimiento de la hélice.
- $\eta_R$ : Rendimiento rotativo relativo.

Basandonos en embarcaciones similares, estableceremos el rendimiento final de operar los 3 rendimientos en un 75%, es decir:

$$\eta_P = 0,75$$

Teniendo el rendimiento y de la potencia necesaria para el remolque de la embarcación, podemos determinar PHP como:

$$PHP = \frac{EHP}{\eta_P} = \frac{12.355,76 \text{ kW}}{0,75} = 16.474,35 \text{ kW} \quad (24)$$

#### 4.1.2. POTENCIA ENTREGADA AL EJE (SHP)

Una vez determinada la potencia necesaria para la propulsión de la hélice, debemos seguir avanzando en la búsqueda de la potencia máxima, es decir, la producida por el motor, para poder dimensionar el mismo.

Se considera un rendimiento del eje del 97%.

$$SHP = \frac{PHP}{\eta_e} = \frac{16.474,35 \text{ kW}}{0,97} = 16.983,86 \text{ kW} \quad (25)$$

Como son dos ejes los encargados de proporcionar la potencia, la SHP la deberemos de repartir entre dos.

$$P_{eje} = \frac{SHP}{2} = \frac{16.983,86 \text{ kW}}{2} = 8.491,93 \text{ kW} \quad (26)$$

#### 4.1.3. POTENCIA AL FRENO (BHP)

La potencia al freno se define como:

$$BHP = SHP / \eta_M$$

Siendo,  $\eta_M$  el rendimiento mecánico de la maquinaria. Este incluye las pérdidas por rozamientos en los cilindros, cabeza y piezas de bielas, cigüeñal, alabes, etc. Estableceremos este rendimiento del 75%, por ser un valor aceptable.

$$BHP = \frac{PHP}{\eta M} = \frac{16.983,86 \text{ kW}}{0,75} = 22.645,15 \text{ kW} \quad (27)$$

#### 4.1.4. MARGEN DE MANTENIMIENTO Y MARGEN DE MAR

Con el objetivo de disminuir los costes de mantenimiento del motor se acostumbra a aumentar en un margen del 10% adicional del valor la potencia instalada. Asimismo, este margen también permite que se cumplan los criterios de velocidad exigidos en situación de navegación en mar abierta.

$$P_T = BHP + 10\%BHP = 24.909,66 \text{ kW} \approx 25 \text{ MW} \quad (28)$$

## 4.2. TURBINA DE GAS EN DIFERENTES TIPOS DE BUQUES

Las turbinas de gas son las preferidas en los buques militares, generalmente debido a su formato compacto, alta densidad de potencia, aceleración, sigilo y bajo tiempo de puesta en marcha. Al no requerir un tiempo de marcha en vacío o calentamiento, están listos para funcionar a plena potencia en solo 30 segundos. Se están utilizando en embarcaciones navales desde 1947, primero en Motor *Gun Boat MGB 509* de la *Royal Navy*.

Especialmente después de las estrictas regulaciones sobre emisiones, en las últimas décadas se ha realizado una enorme inversión de I+D para motores aeronáuticos. Gracias a ello, las turbinas de gas se convirtieron en serios competidores de los motores diésel más utilizados en el comercio del transporte. Se utilizan principalmente en cruceros, grandes ferris rápidos, transporte de GNL y portacontenedores rápidos.

### 4.2.1. DISEÑO DE LAS TURBINAS

Las turbinas de gas se producen como un conjunto de tamaño determinado y con un rendimiento a la salida específico. En cambio, los motores diésel pueden diseñarse de acuerdo a demandas personalizadas. Para evitar posibles problemas técnicos y económicos, el tamaño y el rendimiento de una turbina de gas específica siempre deberá tenerse en cuenta en la fase de diseño de un proyecto naval.

En general, las turbinas de gas marinas son derivadas de los motores de aviación, de los cuales se benefician de las intensivas investigaciones y el desarrollo de altos costes. La ligereza de estas turbinas de los aviones las hace mucho más provechosas, en lugar de las pesadas y voluminosas turbinas industriales.





En cualquier aplicación, aproximadamente la mitad de la energía producida por la turbina es consumida por el compresor y las demandas eléctricas de los accesorios. En las turbinas de gas utilizadas en los motores a reacción de los aviones, la energía que queda en la corriente de gas caliente se libera a alta velocidad para impulsar el avión por la fuerza de reacción.

Por otro lado, en las aplicaciones de potencia del eje, el uso de una turbina de potencia libre que absorba el exceso de energía que queda en la corriente de escape caliente es esencial para impulsar el eje.

Algunos aeromotores con tecnología turbo-propulsora ya tienen turbinas de potencia y están listas para utilizar en aplicaciones marinas. En las turbinas de gas marinas o alimentadas por eje, el motor principal, la aeroturbina de gas original se llama gasificador. Solo el gasificador debe funcionar en el ciclo de arranque, lo que reduce el requisito de potencia de arranque.

#### 4.2.2. SELECCIÓN DE LA TURBINA

De todas las turbinas de propulsión existentes en el mercado, nos basaremos en la capacidad de entrega de potencia para orientarnos en la selección de la que más convenga para la propulsión de nuestro patrullero.

PROVEEDOR	TURBINA	POTENCIA (MW)
ROLLS ROYCE	MT 30	36
	WR 21	25,2
	MT 7	4,6
GENERAL ELECTRIC (GE)	LM 6000 PG	52,4
	LM 6000 PC	56,9
	LM2500+ G4	35,3
	LM 2500+	30,2
	LM 2500	25,06
	LM 500	4,57

Tabla 9. Diferentes turbinas del mercado y sus potencias. Fuente: propia (GE y Roll-Royce).

Como la potencia finalmente demandada a la turbina será un poco inferior a los 25 MW, seleccionaremos la turbina LM2500 de GE para la propulsión a máxima demanda del patrullero.

## LM2500



Weight (lb/kg)	10,300/4,672
Length (ft/m)	21.4/6.52
Height (ft/m)	6.7/2.04

### Output

(shp)	33,600
(kW <sub>s</sub> )	25,060

### SFC

(lb/shp-hr)	0.373
(g/kW-hr)	226.9

### Heat rate

(Btu/shp-hr)	6,860
(Btu/kW <sub>s</sub> -hr)	9,200
(kJ/kW <sub>s</sub> -hr)	9,705

### Exhaust gas flow

(lb/sec)/(kg/sec)	155/70.5
-------------------	----------

### Exhaust gas temperature

(°F)/(°C)	1,051/566
-----------	-----------

### Power turbine speed

(rpm)	3,600
-------	-------

Figura 35. Turbina GE LM2500. Fuente:GE.

### 4.3. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA ECONOMICA

Una vez determinada la potencia necesaria para la velocidad máxima, realizaremos el mismo proceso para la obtención de la potencia necesaria para la navegación a la velocidad económica, es decir, empleando la propulsión de dos motores diésel.



#### 4.3.1. POTENCIA ENTREGADA A LAS HÉLICES (PHP)

Como hemos comentado en el apartado anterior, la potencia que se entrega a la hélice (PHP) no es medible, por lo que partiendo de la potencia necesaria para propulsión del buque (EHP) a la velocidad económica ( $V_e=15,6 \text{ kn}$ )<sup>17</sup> y mediante el rendimiento propulsivo, se puede estimar la PHP.

$$PHP = \frac{EHP}{\eta_P} = \frac{1.154,83 \text{ kW}}{0,75} = 1.539,77 \text{ kW} \quad (29)$$

#### 4.3.2. POTENCIA ENTREGADA AL EJE (SHP)

Aplicando al eje un rendimiento del 97%, puede obtenerse la SHP:

$$SHP = \frac{PHP}{\eta_e} = \frac{1.539,77 \text{ kW}}{0,97} = 1.587,39 \text{ kW} \quad (30)$$

#### 4.3.3. POTENCIA AL FRENO (BHP)

La potencia al freno se define como:

$$BHP = SHP / \eta_M$$

Siendo,  $\eta_M$  el rendimiento mecánico de la maquinaria. Este incluye las pérdidas por rozamientos en los cilindros, cabeza y piezas de bielas, cigüeñal, alabes, etc. Estableceremos este rendimiento del 66%, por ser un valor aceptable en este tipo de motores.

$$BHP = \frac{SHP}{\eta_M} = \frac{1.587,39 \text{ kW}}{0,66} = 2.405,14 \text{ kW} \quad (31)$$

#### 4.3.4. MARGEN DE MANTENIMIENTO Y MARGEN DE MAR

Con el objetivo de disminuir los costes de mantenimiento del motor se acostumbra a aumentar en un margen del 10% adicional del valor la potencia instalada. Asimismo, este margen también permite que se cumplan los criterios de velocidad exigidos en situación de navegación en mar abierta.

$$P_T = BHP + 10\% BHP = 2.645,65 \text{ kW} \quad (32)$$

<sup>17</sup> Ver Figura 26. de potencias de Holtrop.

Dado que la planta propulsora diésel contará de dos motores de iguales características, dividiremos la potencia total entre dos para obtener la potencia unitaria.

$$P_{motor} = 1.322,82 \text{ kW} = 1.798,54 \text{ CV} \quad (33)$$

#### 4.4. SELECCIÓN DE LOS MOTORES DIÉSEL

De los diferentes motores marinos ofertados en el mercado, nos basaremos en la capacidad de entrega de potencia para orientarnos en la selección de la que más convenga para la propulsión de nuestro patrullero.

Como la potencia finalmente demandada a cada motor será  $P_{motor} = 1.322,82 \text{ kW}$ , seleccionaremos el motor marino D2862 modelo LE 436 de la marca MAN<sup>18</sup> para la propulsión a velocidad económica.

##### Technical features D2862

Type designation	LE 446	LE 426	LE 456	LE 436
Displacement l	24.24	24.24	24.24	24.24
Maximum output to DIN ISO 3046-1 kW (hp)	1,029 (1,400)	1,140 (1,550)	1,213 (1,650)	1,324 (1,800)
Rated speed rpm	2,300	2,300	2,300	2,300
Maximum torque Nm	4,680	5,180	5,510	6,010
at speed rpm	1,200–2,100	1,200–2,100	1,200–2,100	1,200–2,100
Lowest specific fuel consumption <sup>1)</sup> g/kWh	203	203	195	200
Classifiable	✓	–	✓	–
Exhaust gas status	IMO Tier II, EPA Tier 3 <sup>2)</sup> , RCD 2013/53/EC, RCD 94/25/EC, 97/68/EC	IMO Tier II, EPA Tier 3 <sup>2)</sup> , RCD 2013/53/EC, RCD 94/25/EC, 97/68/EC	IMO Tier II, EPA Tier 3 <sup>2)</sup> , RCD 2013/53/EC, RCD 94/25/EC, 97/68/EC	IMO Tier II, EPA Tier 3 <sup>2)</sup> , RCD 2013/53/EC, RCD 94/25/EC, 97/68/EC

Tabla 10. Motores marinos MAN. Fuente: Pasch Naval.

<sup>18</sup> Ver Anexo 4. MOTORES MAN

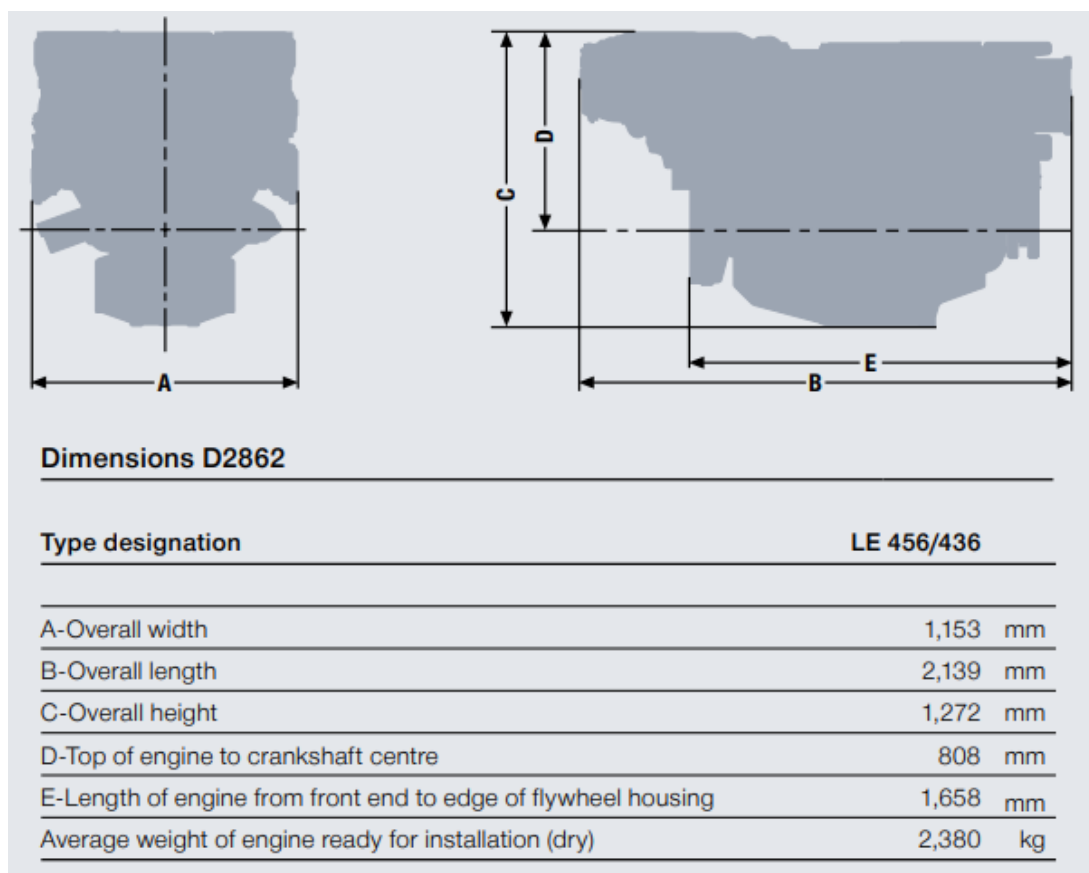


Figura 36. Dimensiones del motor MAN D2862 LE 436. Fuente: Pasch Naval.

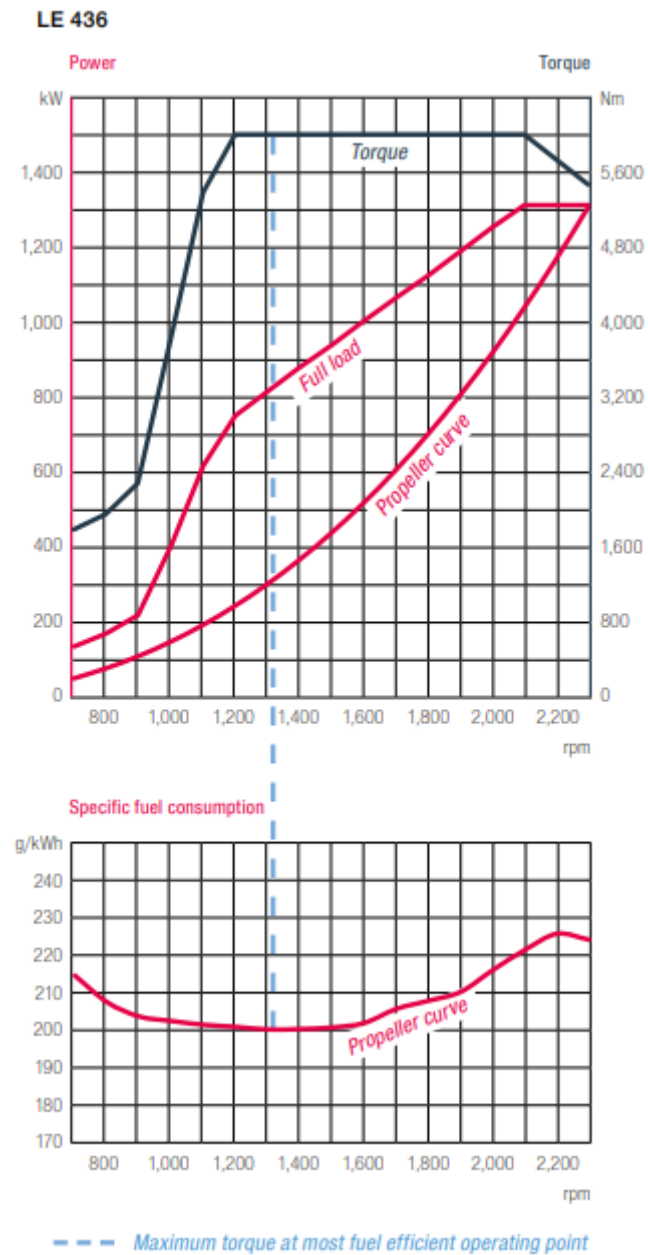


Figura 37. Rendimiento y consumos MAN D2862 LE436. Fuente: Pasch Naval



# Capítulo 8. Diseño del codaste

## 1. DISTANCIAS PREVIAS

Una vez establecida la planta propulsora necesaria para generar la potencia, diseñaremos la forma de proyectar ésta sobre el mar, mediante el diseño del codaste.

Nuestro buque tendrá dos ejes de salida de potencia con una hélice y un timón al final de cada una de ellas.

### 1.1. Altura de la línea de ejes:

La obtención de este valor ( $l_{eje}$ ) viene dado por una inmersión del eje suficiente para que el buque en su navegación en lastre no provoque, en el funcionamiento continuo de la hélice, un descenso de la presión hidrostática que genere posibles fenómenos de cavitación. En el caso que nos ocupa este valor es el siguiente:

$$l_{eje} = 2m$$

### 1.2. Número de palas

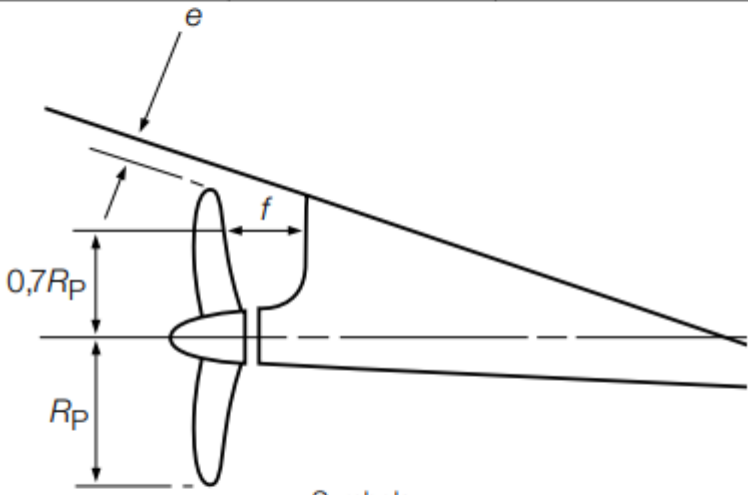
Para determinar el número de palas se ha decidido emplear el número que en la mayoría de casos de buques semejantes al cual estamos trabajando se emplean. Por lo que el número de palas ( $Z$ ) será el siguiente:

$$Z = 5$$

Para el diseño de la hélice tendremos en cuenta las distancias  $e$  y  $f$  obtenidas de la sociedad de clasificación (Figura 38.) para evitar que se produzcan grandes vibraciones producidas por las enormes presiones generadas alrededor de las hélices. Minimizando el desprendimiento de la capa límite aumentaremos el rendimiento de la hélice.

Number of blades	Hull clearances for twin screw, in metres, see Figure 3.4.4 Propeller clearance	
	$e$	$f$
3	$1,20K dp$	$1,20K dp$
4	$1,00K dp$	$1,20K dp$
5	$0,85K dp$	$0,85K dp$
6	$0,75K dp$	$0,75K dp$



Symbols

$$K = \left( 0,1 + \frac{L_R}{3050} \right) \left( \frac{3,48 C_B P_s}{L^2} + 0,3 \right)$$

$t_R$  = thickness of rudder, in metres measured at  $0,7R_p$  above the shaft centreline  
 $P_s$  = designed power on one shaft, in kW  
 $R_p$  = propeller radius, in metres  
 $dp$  = propeller diameter, in metres

Figura 38. Huelgos y espaciado de las hélices respecto al casco. Fuente: Lloyd's Register.





### 1.3. HUELGOS DEL CODASTE

Una vez establecido el número de palas de la hélice y el diámetro de la misma, procedemos a calcular el parámetro  $K$  proceder a calcular los huelgos en función de la tabla obtenida de la sociedad de clasificación.

Se calcula el parámetro  $K$ , como se van a disponer dos hélices, la potencia que deberá soportar cada hélice, será la potencia total dividido entre dos.<sup>19</sup>

$$K = \left(0,1 + \frac{L_R}{3050}\right) \cdot \left(\frac{3,48 \cdot C_B \cdot P_S}{L_R^2} + 0,3\right) \quad (34)$$

$$K = \left(0,1 + \frac{84,5}{3050}\right) \cdot \left(\frac{3,48 \cdot 0.506 \cdot 8.491,93}{84,5^2} + 0,3\right) \quad (35)$$

$$K = 0,306$$

Para una hélice de 4 palas y con un diámetro de 4 m, los huelgos del codaste quedarían de la siguiente manera:

$$e = 0,85 \cdot k \cdot dp = 0,85 \cdot 0.306 \cdot 2 = 0,520 \text{ m} \quad (36)$$

$$f = 0,85 \cdot k \cdot dp = 0,85 \cdot 0.306 \cdot 2 = 0,520 \text{ m} \quad (37)$$

Una vez calculado los huelgos, se situara los ejes de las dos hélices a una determinada altura de la eslora del buque, en nuestro caso las estableceremos a 1,5 m hacia proa de la mecha del timón, es decir, a 1,5 m del origen de coordenadas.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Ver apartado: 594.1.2. POTENCIA ENTREGADA AL EJE (SHP).

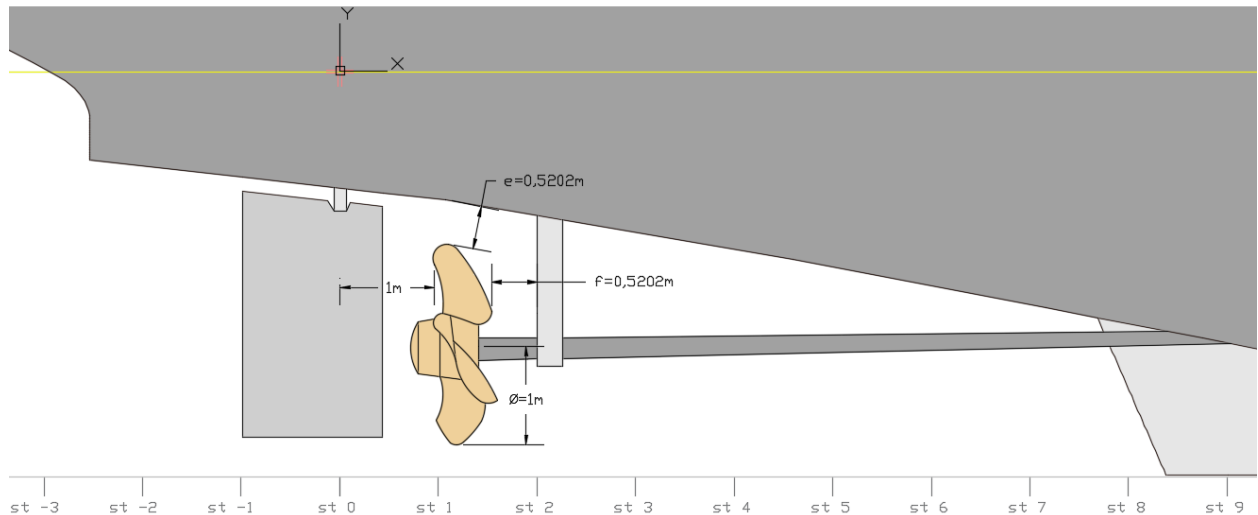


Figura 39. Zona del codaste de nuestro patrullero, con su eje, hélice y timón. Fuente: propia.

## 2. DISEÑO DE LA HELICE

### 2.1. TIPO DE HELICE

La solución más adecuada, en lo que a maniobrabilidad y flexibilidad se refiere, y para la planta de propulsora a instalar (accionada por motores diésel y turbina de gas) es la elección de una hélice de paso variable o controlable.

Con las HPC la turbina dispone de una gran capacidad de retroceso a través de su capacidad de todo adelante, todo atrás en aproximadamente 20 segundos sin ningún tipo de consecuencia en la fortaleza de las palas de la hélice.

<sup>20</sup> La mecha del timón está situada a 6 m de popa, como hemos establecido en el Capítulo 5. Diseño de las formas el casco



Otra ventaja es que en ocasiones es esencial proteger los motores diésel de un deterioro anticipado y con este tipo de hélices se puede lograr un control de carga eficiente para proteger al motor de una sobrecarga debido a las condiciones del mar o a maniobras a gran velocidad.

En lo que a confiabilidad se refiere según informes provistos por astilleros donde se realizan reparaciones que indican que después de colisiones e inclusive después de alguna varadura el mecanismo dentro de la pala permaneció intacto y la pala totalmente destruida.

En lo que al mantenimiento se refiere se efectúa en los periodos normales de dique seco y cada 4 o 5 años se deben cambiar los sellos de las palas y los elementos de fijación de las palas.

## 2.2. MATERIALES PARA LAS HELICES

Los posibles materiales para la construcción de las hélices vienen clasificados según la normativa de la sociedad *Lloyd's Register* en la Tabla 11. En esta se define la resistencia mínima a la tracción para las siguientes fundiciones, la densidad de los diferentes materiales y su límite de tensión.

Material	Specified minimum tensile strength N/mm <sup>2</sup>	G Density g/cm <sup>3</sup>	U Allowable stress N/mm <sup>2</sup>
Carbon steels	400	7,9	20,6
Low alloy steels	440	7,9	20,6
13% chromium stainless steels	540	7,7	41
Chromium – nickel austenitic stainless steel	450	7,9	41
Duplex stainless steels	590	7,8	41
Grade Cu 1 Manganese bronze (high tensile brass)	440	8,3	35
Grade Cu 2 Ni-Manganese bronze (high tensile brass)	440	8,3	35
Grade Cu 3 Ni-Aluminium bronze	590	7,6	53
Grade Cu 4 Mn-Aluminium bronze	630	7,5	45

Tabla 11. Materiales para hélices. Fuente: *Lloyd's Register*.

Una vez establecidos los materiales que serán aceptados por esta sociedad de clasificación para la construcción de la hélice, se explicará qué ventajas y que inconvenientes tiene cada material a la hora de construir una hélice.

- Aluminio: Las hélices de aluminio son las más utilizadas por los motores de uso general. Como ventajas encontramos su bajo coste y su facilidad en romperse en caso de colisión con algún elemento duro sumergido. De esta forma protege los dispositivos más delicados del motor. Por el contrario, el

aluminio es un material muy quebradizo y con el tiempo su superficie se vuelve porosa y frágil perdiendo ductilidad.

- Bronce: Las hélices de bronce tienen una gran resistencia al deterioro que causa el agua en los materiales metálicos que componen los dispositivos de propulsión, sobre todo aquellos que actúan en medios con una salinidad muy alta, como el agua marina. De cierta manera absorben los golpes, ya que permiten algún grado de deformación. A continuación mostraremos también las principales características de otros materiales usados para la construcción de hélices, aunque no sean los nombrados en la normativa.

- Acero inoxidable: Las hélices de acero inoxidable son las preferidas por los navegantes, pero no las más recomendadas. Su extrema dureza le preserva de roturas y deformaciones a la hora de colisiones, pero el esfuerzo que no es absorbido es transmitido de forma peligrosa a los elementos de transmisión. También es relativamente liviana y prácticamente son inmunes a los ataques químicos del agua. Otra desventaja que tiene este tipo de hélices es su elevado coste.

- Acero al carbono: Este tipo de hélices están construidas íntegramente con acero al carbono de baja dureza. Esta aleación permite absorber más y mejor los golpes, ya que presentan un cierto grado de ductilidad que les permite a las palas que se deformen sin romperse. Como ventaja también encontramos su resistencia a la salinidad y su bajo peso. Por lo que refiere el precio, se encontraría por encima de las hélices de aluminio, pero por debajo de las hélices de acero inoxidable.

- Carbono: Las hélices de carbono son utilizadas en equipos de alto rendimiento. Reúnen las mejores ventajas de cada tipo de material usado en la construcción de las hélices. Su única desventaja es su elevado precio.

#### 2.2.1. CES EDUPACK

El programa de selección de materiales *CES EduPack* es una potente base de datos de materiales e información de procesos, que incluye todo tipo de materiales, composiciones y aleaciones, para apoyar los estudios de materiales en ingeniería, diseño, ciencia y desarrollo sostenible.

*CES EduPack* se divide en tres niveles para que los estudiantes accedan a un nivel adecuado de información sobre los materiales a medida que avanzan en sus estudios. En nuestro caso entraremos en el nivel 3, donde se incluyen todos los materiales.

Dentro de la herramienta de selección, escogeremos todos los materiales entrando en: *Select/ all materials*. Mediante la función *Tree* filtramos por el tipo de materiales que queremos, es decir, los aceros inoxidables martensíticos, dentro de los tipos de materiales metálicos y sus aleaciones.

Dentro de este tipo de materiales, también nos interesan los metales de baja aleación y aceros dúplex, por lo que también los añadiremos al filtro.

Como la hélice estará en contacto directo con el agua salada, excepto cuando entre en dique seco, añadiremos como límite que tenga unas excelentes propiedades respecto a la durabilidad en este medio.

Creamos el grafico de a continuación para clarificar los elementos obtenidos y poderlos clasificar en función de sus buenas propiedades mecánicas y su precio.

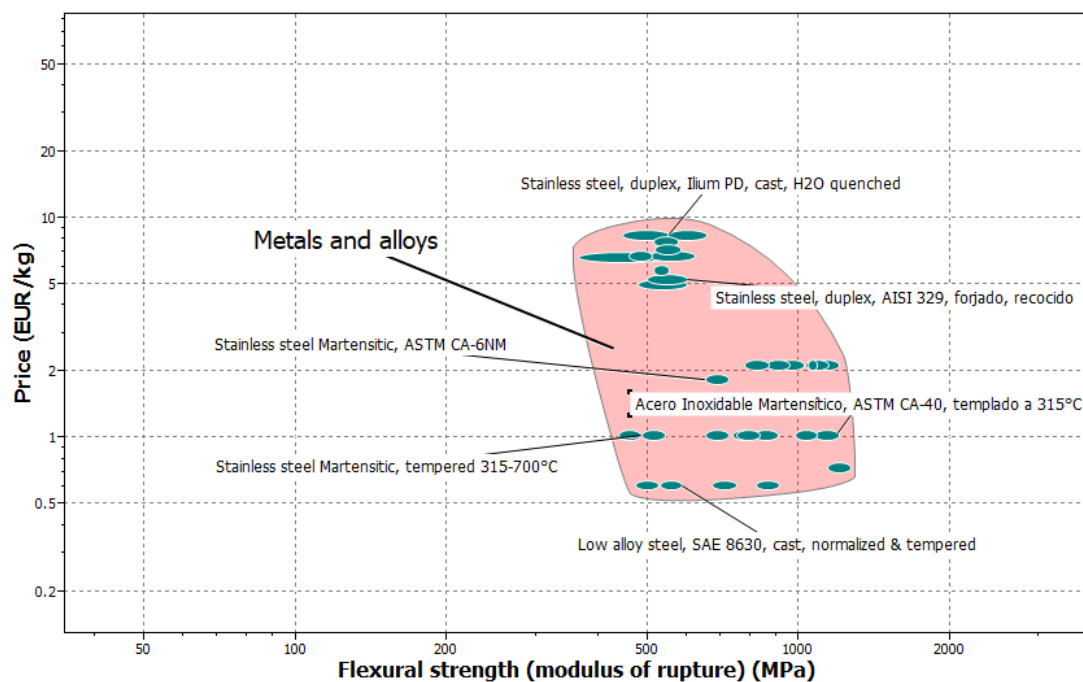


Figura 40. Precio de materiales en función del modulo de rotura. Fuente: propia, CES EduPack.

Finalmente por los precios ofrecidos y las similares propiedades de las aleaciones obtenidas de misma familia pero con diferentes acabados, acabaremos seleccionando un acero inoxidable martensítico templado a 315 °C de nombre: **ASTM CA-40**.

Algunas de las propiedades del cual son las siguientes:

Propiedades	ASTM CA-40
Densidad	7,6 kg/m <sup>3</sup>
Precio	1€/kg
Composición	Fe / 12,5 Cr / <1,5 Si / <1,0 Mn / <1,0 Ni 0,2/0,4 C / <0,5 Mo / <0,04 P / <0,04 S
Modulo de Young	200 GPa
Temperatura mínima de servicio	-73/-43°C
Coefficiente de expansión térmico	9/11 $\mu\text{strain}/^\circ\text{C}$
Resistividad eléctrica	71/81 $\mu\text{ohm}\cdot\text{cm}$
Other notes	La mayor resistencia, dureza y resistencia a la corrosión se obtiene al atemperar a 315 °C, pero la ductilidad es pobre. La peor resistencia a la corrosión se obtiene al temprar a 595 °C.

Tabla 12. Propiedades del material de la hélice ASTM CA-40. Fuente: CES EduPack.

### 3. HÉLICE EMPUJADORA DE PROA

Dentro de la sección de las hélices del proyecto, se aprovecha el espacio para el diseño de una hélice adecuada para nuestra embarcación.

Para la selección hélice empujadora de proa nos basaremos en la marca YMV, la cual diseña y fabrica hélices de proa a medida para la industria marina. Este tipo de propulsores de túnel apoya las operaciones portuarias y mejora la maniobrabilidad.

#### 3.1. EMPUJE NECESARIO

Las hélices de maniobra deben vencer dos tipos de empujes: el producido por el agua y el producido por el viento. El empuje que debe proporcionar depende del tipo de buque, del área lateral proyectada de la obra viva y de la obra muerta del buque.

Para la estimación del empuje utilizamos la siguiente fórmula:

$$E = F \cdot L_{pp} \cdot T \quad (38)$$

Donde: F es una constante expresada en kN/m<sup>2</sup> que relaciona el empuje necesario con la superficie de la obra viva. El valor de esta constante se puede obtener del grafico de la

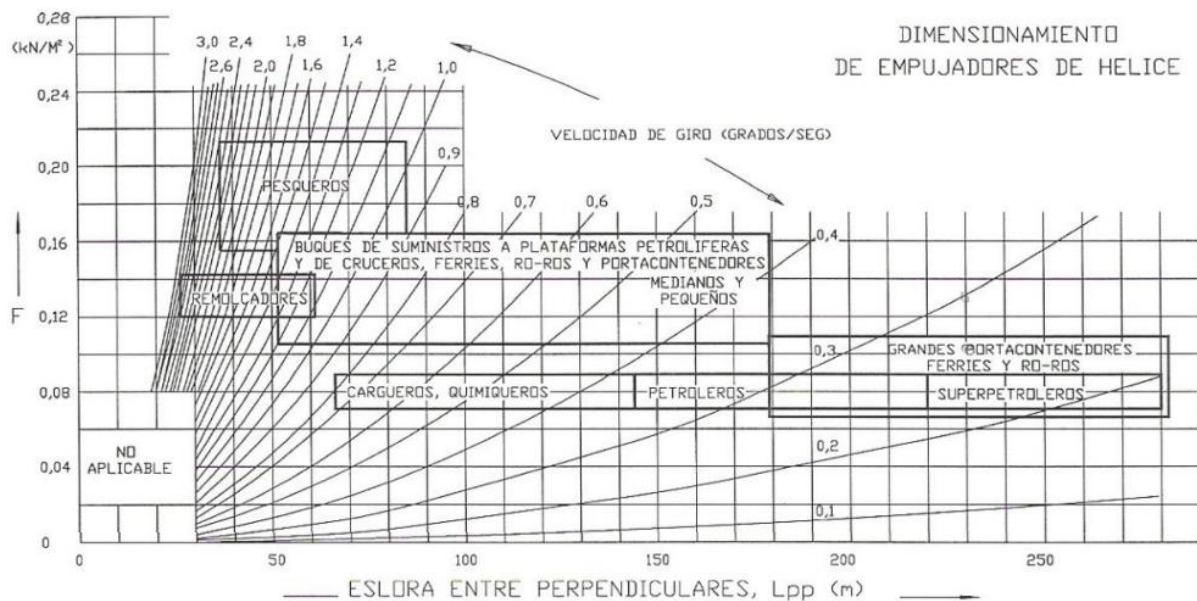


Figura 41.;  $L_{pp}$  es la eslora entre perpendiculares, igual a 84,5 m.  $T$  es el calado (4,08m).

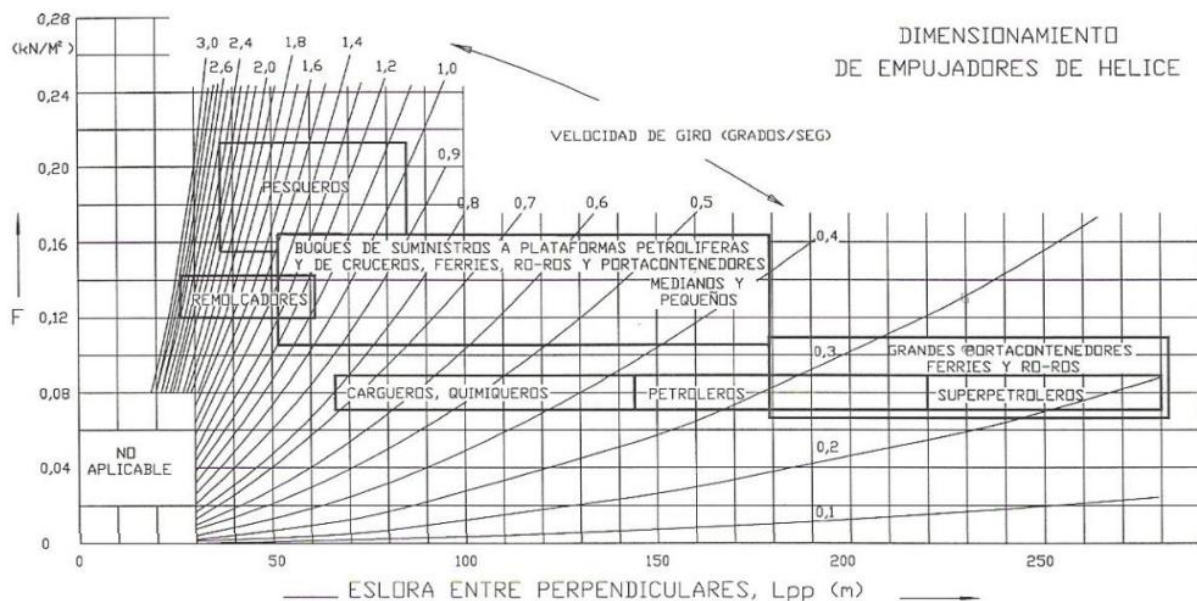


Figura 41. Constante de empujadores de proa en función de la eslora y tipo de buque.

En nuestro caso, para un buque de 84,5 m de  $L_{pp}$ , tomamos:

$$F = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

Por lo que el empuje correspondiente será:

$$E = 0,18 \cdot 84,5 \cdot 4,08 = 62,05 \text{ kN} = 6.325,87 \text{ kg} \quad (39)$$



Figura 42. Conjunto empujador de proa. Fuente: YMV Crane and Winch Systems.

### 3.2. POTENCIA NECESARIA

Las hélices empujadoras transversales de túnel tienen un valor medio de relación entre el empuje y la potencia del motor de accionamiento de 11 kg/HP. Por tanto la potencia necesaria del motor será:

$$P = E/11 = 6.325,87/11 = 575,08 \text{ HP} \quad (39)$$

La potencia consumida depende del tipo de motor de accionamiento. Suponiendo que el motor eléctrico que mueve la hélice tiene un rendimiento del 96%, la potencia eléctrica necesaria para mover el conjunto motor-hélice de proa será:

$$P_E = \frac{P}{0,96} = 599,04 \text{ HP} = 447 \text{ kW} \quad (40)$$

Con estos valores, la velocidad de giro del buque podemos obtenerla mediante:





$$V_G = \frac{188}{L_{pp}} \cdot \sqrt{F} = \frac{188}{84,5} \cdot \sqrt{0,18} = 0,4242 \text{ m/s} \quad (40)$$

### 3.3. Elección de la hélice de proa

Elegimos para la hélice de proa de nuestro buque, un modelo de la marca *YMV Crane and Winch Systems*. Para obtener sus principales características entramos en la tabla que aparece a continuación para seleccionar la única hélice que nos proporciona la potencia necesaria.

TECHNICAL SPECIFICATIONS				
Tunnel Diameter (mm)	Power (kW)	Electric Motor (RPM)	Propeller Diameter (mm)	Thrust (kN)
480	22	1000	440	2,4
480	30	1450	440	3,3
480	37	1450	440	4,1
500	45	1450	460	5
720	110	1450	665	12,5
965	200	1450	900	25
1055	250	1450	1000	32
1110	300	1450	1050	39
1330	450	1450	1250	63

Tabla 13. Hélices de proa ofertadas por *YMV Bow Thruster-Stern Thruster*. Fuente: *Nauticexpo*.

Por tanto, en vista de la potencia necesitada, seleccionaremos por proximidad la última hélice de la tabla, de 450kW. Las características fundamentales de la hélice de maniobra escogida son:

- Propulsión eléctrica con potencia máxima de hasta 450 kW.
- Velocidad de entrada nominal: 1450 rpm
- Propulsor de bronce con un diámetro de 1,25 m.
- Relación de engranajes: 1,6 a 2,3 mm
- Propulsores de túnel con hélice de paso fijo para aplicación tanto en proa como popa.
- El conjunto del producto incluye además un panel de control principal para el puente, con variador de frecuencia y con ajustes de fábrica programados.

## Capítulo 9. Multi-misión

Nuestro patrullero tendrá la apariencia de una corbeta, pero no estará equipado con misiles ni elementos anti-submarino. Si que tendrá instalado un cañón de 30 mm en el pedestal de proa.

Para la protección de la embarcación, llevará instalados, a cada banda del buque, un cañón de alta cadencia. Además podrá emplear, también, los cañones de agua a presión del servicio de contra incendios y baldeo, para niveles bajos de amenaza.

Las misiones para las que se está diseñando este patrullero oceánico son básicamente la ayuda humanitaria y la lucha contra la piratería y el narcotráfico.

La unión del helicóptero junto a la embarcación neumática, es un perfecto dúo para la resolución satisfactoria de este tipo de misiones. Por lo que al helicóptero se refiere, el patrullero puede soportar pesos mayores a las 11 toneladas, como la aeronave NH-90. Las dos embarcaciones neumáticas serán RHIB 975, suministradas por DAMEN.

### 1. AYUDA HUMANITARIA

La ayuda ofrecida por el patrullero es tanto como para dar apoyo en catástrofes ambientales, como para la lucha contra las organizaciones dedicadas al tráfico ilícito de inmigrantes. También se incluye dentro de este ámbito las misiones de salvamento de embarcaciones a la deriva.

Para este tipo de operaciones, en el lugar donde buques similares establecerían el hangar para alojar el helicóptero, nuestro buque ocupará el espacio con un amplio hospital.

Este completo hospital permitirá la realización de telemedicina por videoconferencia en sus diferentes salas. Incorporará un quirófano totalmente equipado, cuatro UCIs (unidad de cuidados intensivos), diez camas y una sala de rayos X. Esta capacidad hospitalaria otorgará al buque un importante papel ante operaciones humanitarias.

Para poder realizar las diferentes ayudas necesitadas en cada momento, además de servirse del helicóptero como método de búsqueda y rescate de personas afectadas, también podrán trincarse a bordo hasta 4 contenedores de 20 TEUs (2,44 x 2,89 x 6,10 m) ubicados de la siguiente manera:

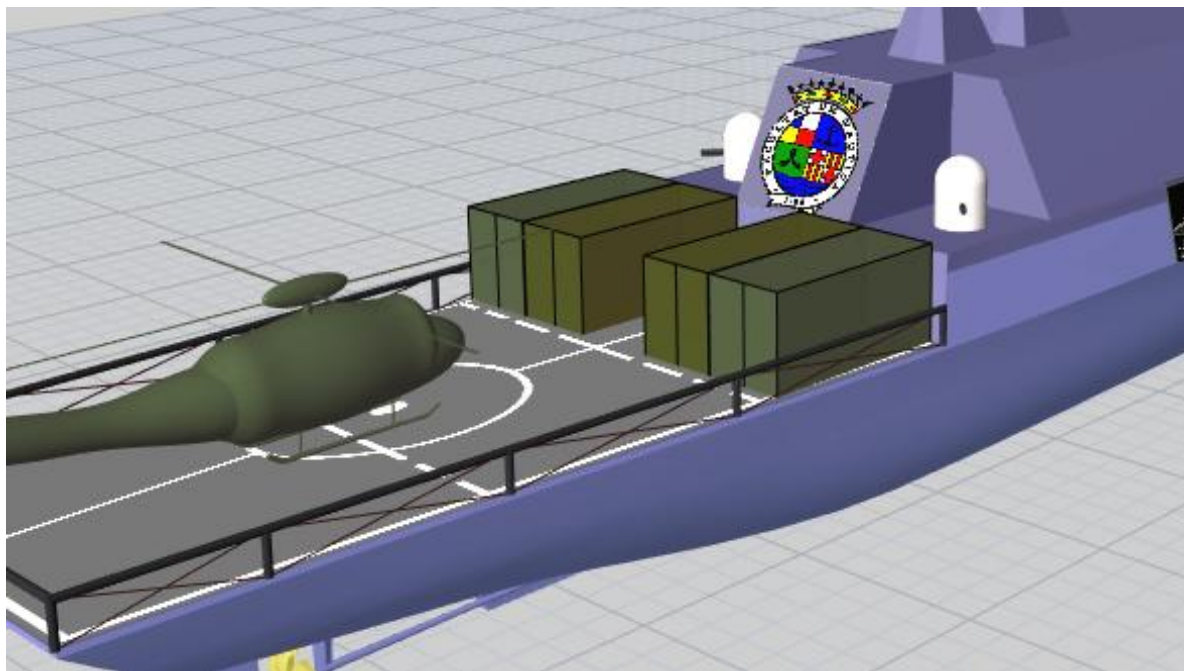


Figura 43. Disposición de los contenedores en la cubierta de vuelo. Fuente: propia.

La amplia cubierta de vuelo tendrá unas dimensiones de 25 x 13 m, generando una superficie total de 307 m<sup>2</sup>, con posibilidad de operar y repostar tanto de día como de noche. Alrededor de esta se instalarán un conjunto de vallas abatibles automáticamente para facilitar el aterrizaje y despegue de los helicópteros.

Dicha cubierta estará provista de un sistema de anclaje *Harpoon Deck Landing System* para el amarre y trinca del helicóptero en condición de navegación. Al ser un sistema automático de sujeción, permite asegurar la aeronave a la cubierta del buque sin necesidad de que ningún marinero corra el riesgo de lesionarse o se vea en peligro por posibilidad de caer al agua por el oleaje.

## 2. LUCHA CONTRA LA PIRATERÍA Y NARCOTRÁFICO

En España, la cercanía a la costa africana a través del estrecho de Gibraltar, genera una gran incitación para la obtención de grandes cantidades de dinero con el contrabando ilegal de todo tipo de

sustancias, del continente africano hacia Europa, es la puerta de entrada a la Unión Europea (libre de fronteras).

Además, los patrulleros españoles también se encargan de proteger los buques que navegan fuera de las aguas nacionales como son zonas del cuerno de África, donde la piratería y el secuestro de embarcaciones están a la orden del día.

Para lucha contra este tipo de actividades, el equipo de intervención<sup>21</sup> de a bordo podrá emplear dos embarcaciones neumáticas tipo RHIBS<sup>22</sup>, las cuales mediante una alta velocidad (40 kn) y maniobrabilidad son perfectas para brindar a nuestro patrullero del apoyo necesario.

La recuperación del bote a bordo se realizará mediante una grúa suministrada por la empresa *Rolls-Royce* específicamente diseñada para tal función. Esta estructura agiliza enormemente la puesta a flote de la embarcación en pocos segundos, al igual que su rápido embarque a bordo.



Figura 44. Grúa de suministrada por *Rolls-Royce* para los RHIBs. Fuente: *Save The Royal Navy*.

<sup>21</sup> Ver Figura A39. del anexo 10.

<sup>22</sup> RHIB: *Rigid Hull Inflatable Boat*. Embarcación inflable de casco rígido.

### 3. Sistema de suministro de combustible (FAS)

Los buques de aprovisionamiento logístico han sido diseñados para el suministro de combustible en despliegues navales ubicados por todo el planeta. Cualquier suministro de combustible que no se lleve a cabo en puerto se realiza de esta manera.

Para la recepción del carburante por parte de las embarcaciones, éstas deberán estar provistas de la infraestructura adecuada. Se denomina la capacidad FAS (*fueling at sea*). Para llevar a cabo esta operación, las dos unidades deben adoptar un mismo rumbo y velocidad y mantenerlo hasta que finalice el aprovisionamiento. Además, se deberá tener en cuenta las condiciones meteorológicas del momento.

Una vez conectados los dos buques a través de un cable de acero llamado Andarivel, las mangueras se deslizan por él. Miles de litros de combustible son suministrados en poco más de una hora permitiendo que nuestro patrullero continúe con su misión sin necesidad de entrar en puerto.

En nuestra embarcación, la infraestructura receptora del sistema FAS está ubicado en el hangar de descanso de los RHIBs.



Figura 45. Buque Cantabria suministrando combustible a la Fragata Álvaro de Bazán. Fuente: Ministerio de Defensa.

## Capítulo 10. AMARRE Y FONDEO

El amarre es la maniobra mediante la cual se fija el buque en una posición para facilitar su carga y descarga, remolque o sencillamente estacionamiento. Cuando el amarre se efectúa contra un muelle se denomina atraque, cuando se colocan dos barcos juntos se llama abarloar, y los elementos que se utilizan para tal fin se llaman amarras, que vienen a ser cabos fuertes, cables cadenas y estachas.

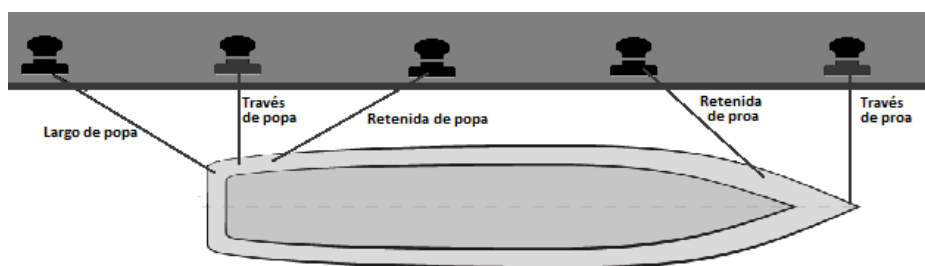


Figura 46. Diferentes formas de trabajo de las amarras. Fuente propia.

En cuanto a la maniobra de proa, como la mayoría de los buques de guerra en general, estableceremos una maniobra de fondeo con cabestrantes y chigres<sup>23</sup> de eje vertical en vez de lo usual en buques civiles de eje horizontal.

La cadena del ancla debe correr por cubierta para poder dar remolque en caso de necesitarse, desengrillando el ancla de la cadena y dando el cabo de remolque desde la cadena, como lo hacen los buques de la OTAN, los cuales nos apoyaran en caso de necesitarlo durante las operaciones.

---

<sup>23</sup> Chigre: Es una especie de torno que se dispone en cubierta para operaciones de remolque, maniobra de ancla, con cabestrante u otros propósitos.





Figura 47. Chigre de eje vertical. Fuente: Ymv Crane And Winch Systems.



Figura 48. Equipo de fondeo de eje vertical en buque de guerra. Fuente: Navegar es preciso.

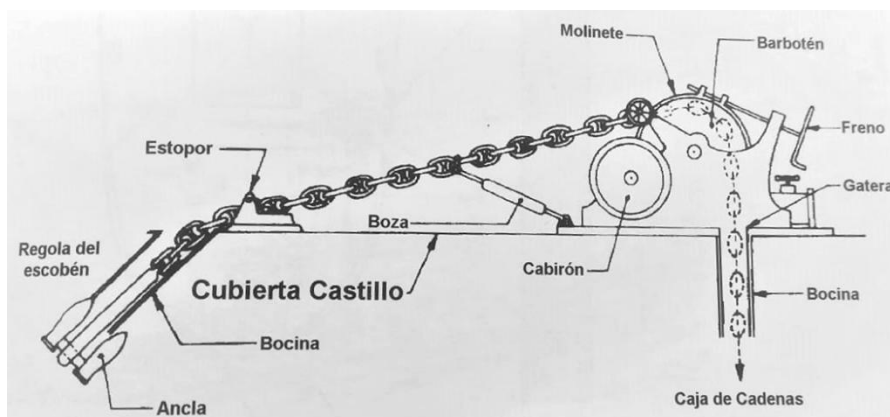


Figura 49. Disposición del equipo de fondeo. Fuente: Principios ingeniería Naval; Victoria Meizoso, Jesús Ramón. Tórculo, 1997.

## 1. AMARRE Y FONDEO DE NUESTRO PATRULLERO

calculado según nuestra Sociedad de Clasificación, nos encontraremos ante un buque que va a incorporar un sistema de amarre que conste de dos áreas.

Para nuestro de tipo de buque de guerra, si analizamos el sistema de amarre y remolque correspondiente, para el cálculo de los elementos correspondientes al sistema de amarre, se comienza por estudiar la carga mínima de rotura que establece la Sociedad de Clasificación *Lloyd's Register* para buques de guerra, la cual ha de ser la siguiente:

$$BL = FS / n$$

Siendo FS la fuerza transversal debida al viento, y n el número de estachas de amarre de través. La fuerza debida al viento en la dirección transversal viene dada por la fórmula:

$$F_s = 2,382 \cdot A \cdot \frac{(h + 18)}{h} + 60 \quad [kN] \quad (41)$$

donde: 'A' es el área lateral expuesta al viento, por encima de la línea de flotación de verano; y 'h' la altura media sobre la línea de flotación, la cual se calcula como:  $h = 2A / 3L$  [m]. 'L' es la eslora que corresponderá a un valor entre un 96% y un 97% de la eslora de flotación de verano.

Considerando una fuerza estática transversal debida al viento aproximada de 650 kN, y de acuerdo con la Sociedad de Clasificación, como mínimo el buque contará con dos estachas de través y además, el diámetro de las estachas será al menos de 72 mm.

Por lo tanto, la carga mínima de rotura de las estachas de través será de:

$$F_s = \frac{650}{2} = 325 \text{ kN} \quad (42)$$

La Sociedad de Clasificación Bureau Veritas determina el número de estachas de amarre con las que el buque tendrá que contar, que son en total ocho:

- Largo de proa y largo de popa.
- Spring en zona de proa y en zona de popa.
- Traves en zona de proa y traves en zona de popa.
- Dos estachas de reserva (traves y spring).





La longitud de las estachas de amarre será, según la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, la siguiente:

- Para través y spring, de entre  $0,7 \cdot L$  y  $L$ . (Siendo  $L$  la eslora correspondiente a la flotación de verano). Para nuestro patrullero serían 70 m.
- La longitud de los largos de proa y popa, debe ser de 1,5 veces la eslora correspondiente a la flotación de verano. nuestro patrullero: 126,75 m.





# Capítulo 11. SISTEMAS DE OPERATIVA

## 1. SISTEMAS DE NAVANTIA

La empresa española Navantia tiene todo tipos de sistemas propios para el control de embarcaciones.

### 1.1. SISTEMA DE VIGILANCIA DE AGUAS PRÓXIMAS (SVAP)

El SVAP es un sistema de vigilancia, protección ambiental y control del tráfico marítimo, de aplicación en las aguas próximas de infraestructuras críticas, como puertos, plataformas offshore, parques eólicos marítimos, etc.

### 1.2. DIRECCIÓN DE TIRO DORNA

El objetivo principal de la dirección de tiro es neutralizar una amenaza mediante la detección, identificación, búsqueda y seguimiento con predicción balística, el control de armas y enfrentamiento con las armas asignadas cuando sea necesario.

### 1.3. SISTEMA DE GESTIÓN DE COMBATE SCOMBA

SCOMBA es un CMS (*Combat Management System*) para buques militares desarrollado por Navantia Sistemas para la Armada Española. Proporciona a las dotaciones de los buques la capacidad de identificar, evaluar amenazas y la selección de armas y señuelos más efectivos para la amenaza concreta, permitiendo el intercambio de información táctica entre el buque y otras unidades o centros en tierra.

### 1.4. NAVCOMS.

Este engloba todas las fases del programa: diseño, fabricación, pruebas de fábrica, pruebas de integración en tierra, puesta a punto a bordo, pruebas de puerto y mar, formación, evaluación operativa y apoyo al ciclo de vida.



### **1.5. SISTEMA DE MANDO Y CONTROL CDS**

El CDS es un sistema de mando y control para buques tipo fragata que cubre todas las funciones de guerra antiaérea (AAW), antisubmarina (ASW), guerra de superficie (ASUW) y guerra electrónica (EW). El sistema está preparado para incorporar todo tipo de nuevas funciones.

### **1.6. CONTROL DE SUBSISTEMAS NO TÁCTICOS SICP**

EL SICP, por su parte, es un sistema desarrollado por Navantia Sistemas que controla todos los subsistemas no tácticos del buque (propulsión, distribución y generación de energía, sistemas auxiliares y control de averías) que no forman parte del Sistema de Combate. Este equipo facilita la reducción de dotaciones y da respuesta a la preocupación medioambiental de la Armada.

## **2. SISTEMAS DE ARMAMENTO Y DEFENSA**

A bordo de nuestro patrullero se dispondrá tanto armamento de ataque, como de defensa. Por las características de la embarcación y las misiones para las cuales es concebida, esta no será armada hasta los dientes, sino que dispondrá de una serie de elementos proporcionales, para la disuasión y neutralización del enemigo.

A parte de los equipos de armas portátiles de todo el personal, para garantizar la seguridad de la embarcación y de sus operaciones<sup>24</sup>, dispondremos a lo largo del buque de una serie de artillería automática controlada desde la consola de un operador remoto ubicado en la sala CIC (centro de información y combate).

Dentro de estos elementos podemos destacar, en proa, un sistema DS30M con cañón de 30 mm y, a cada banda en popa, un montaje CIWS<sup>25</sup> con cañón rotativo *M61 Vulcan* de 20 mm fijado a una torreta orientable.

---

<sup>24</sup> Ver Figura A39. del Anexo 10.

<sup>25</sup> Ver Anexo 5. COMPARATIVA DE ARTILLERÍA NAVAL TIPO CIWS

## 2.1. CAÑÓN DE PROA DS30M

Cañón automático de pequeño calibre *DS30M Mark 2* (ASCG) de 30 mm es un sistema de protección de embarcaciones fabricado por *MSI-Defense Systems* que consiste en un cañón *Mark 44 Bushmaster II* de 30 mm en un montaje completamente automatizado o manual, controlado con un director electro-óptico (EOD) fuera del montaje.

La montura es de tipo naval de un solo cañón, estabilizado por giroscopio, operado eléctricamente, con diferentes modos de control y miras. Cuenta con bajas firmas de IR (infrarrojos), de rayos magnéticos y de radar, además de contar con una excelente ergonomía, disponibilidad, confiabilidad, y poco mantenimiento (en el brazo mecánico únicamente).



Figura 50. Sistema DS30M. Fuente: Sea Forces.

## 2.2. DEFENSA EN POPA

Cañón rotativo *M61 Vulcan* de 20 mm fijado a una torreta orientable, con un sistema automático de recarga y con sistema radar de dos antenas para búsqueda y adquisición de objetivos.

El cañón de 20 milímetros guiado por radar de *Phalanx* detecta, evalúa, rastrea, activa y realiza automáticamente la evaluación de destrucción contra *ASM* (misiles anti-buque) y la amenaza de todo tipo de aeronaves, incluyendo aviones de alta velocidad.

Gracias a su elevada cadencia de fuego, este arma se convierte en un método de disuasión muy efectiva para nuestra embarcación. Además, al añadirle el sistema electro-óptico para la vigilancia cercana, se obtiene la capacidad de ver en la casi oscuridad.

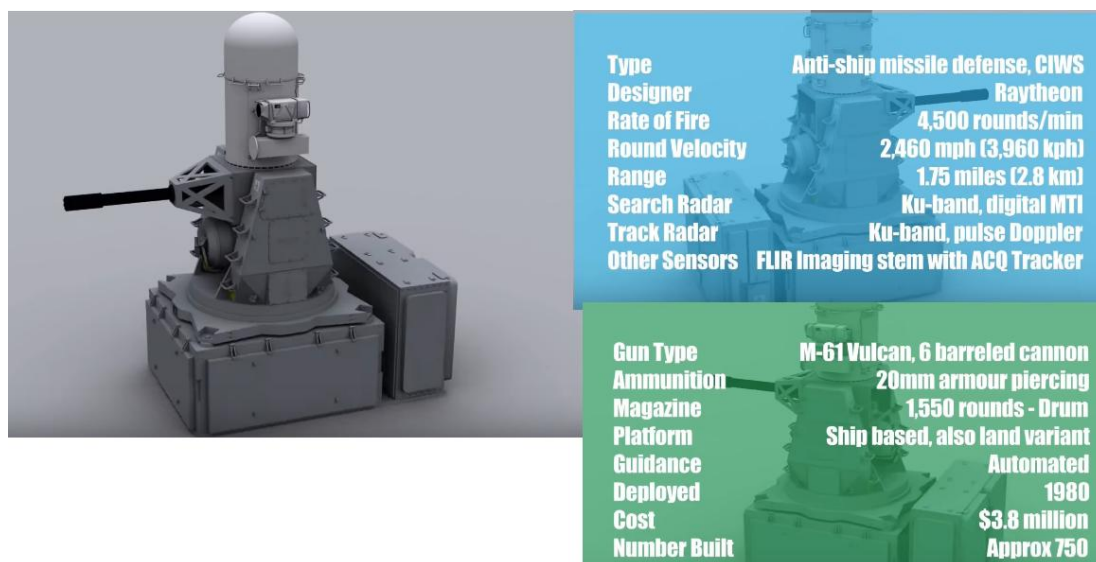


Figura 51. Características CIWS. Fuente: US Navy.

### 2.3. SISTEMA DE LANZAMIENTO DECOY

Para la defensa de la embarcación, como medida preventiva se instalará un sistema de lanzamiento *Decoy Terma SKWS*, con señuelos antimisiles. Estos son los sistemas empleados por la OTAN.

*Terma SKWS* es un sistema moderno de lanzamiento de señuelos diseñado para proporcionar una cobertura de 360 grados para contra-atacar a los misiles anti-buque. Esto se consigue mediante la cuidadosa colocación de señuelos en los lanzadores multi-angular.

El sistema se basa en dos *Terma DL-12T* de lanzamiento para grandes buques, es decir, tiene 12 lanzadores. Para nuestra embarcación bastará con dos *Terma DL-6T*.

Las características clave del sistema incluyen:

- Lanzadores de peso ligero con tamaño reducido
- Montaje en cubierta de baja presión.
- Cobertura horizontal de los 360°.
- Avanzados algoritmos de lanzamiento

- Funcionamiento totalmente automatizado.
- Soporte de todos los señuelos tipo *SeaGnat*.
- Alta flexibilidad y fácil integración de los algoritmos definidos por el usuario y las bibliotecas.



Figura 52. Lanzadores de 12 tubos Terma SKWS.  
Fuente: *Terma* (Imagen cortesía de Royal Danish Navy).

## 2.4. ANTENAS Y RADARES

Por lo que a la detección de enemigos y para la navegación se refiere, instalaremos un seguido de radares y antenas que nos permitan mantener la integridad del buque.

### 2.4.1. THALES ALTESSE ESM

ALTESSE-H detecta el rumbo de los emisores de frecuencias y la distancia a la cual se encuentra más allá del alcance de otros sensores (Radar, EO / IR).



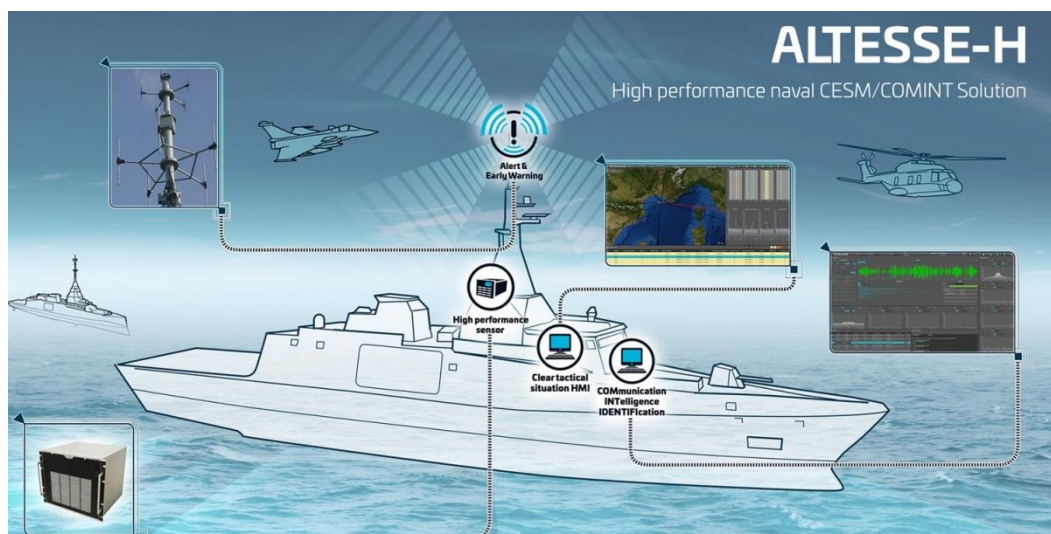


Figura 53. Thales Altesse-H. Fuente: Thales group.

#### 2.4.2. THALES SMAR-S MK2

Es un radar multihaz 3D, funciona en banda S y está optimizado para la vigilancia de medio a largo alcance y la designación de objetivos en entornos litorales.

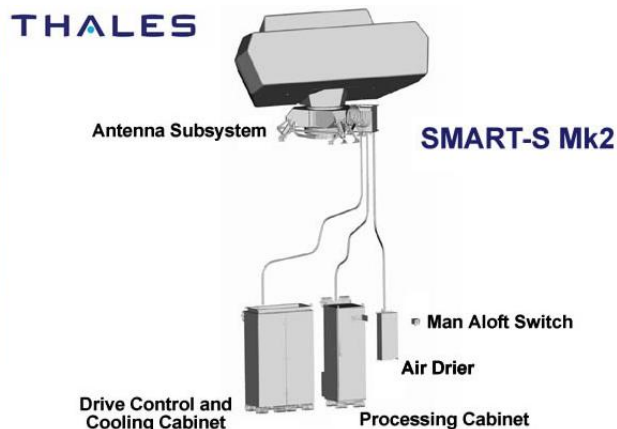


Figura 54. THALES SMAR-S MK2. Fuente:Thales Group.

#### 2.4.3. THALES SCOUT MK2 LPI

Es un sistema de estado de alta confiabilidad, bajo peso y pequeñas dimensiones, como un radar de vigilancia de superficie de onda continua de modulación de frecuencia de banda X, de rango bajo y medio. Es líder de mercado entre los radares marítimos de baja probabilidad de interceptación (LPI).



#### 2.4.4. INMARSAT:

Es un sistema interno para la monitorización de la vigilancia interna mediante cámaras.

#### 2.4.5. THALES STING 1.2

Es un ligero sistema de control de armas de banda dual (I y K), soporta el control de disparos de armas, realiza evaluaciones de muertes y contribuye en la detección y clasificación de amenazas. Además, el sistema se puede utilizar como un sensor de vigilancia, incluso en condiciones de silencio de radar.



Figura 55. Thales Sting. Fuente: NavyRecognition.

#### 2.4.6. THALES VIGILE 100 ESM



Figura 56. Thales VIGILE 100 ESM. Fuente:Thales Group.

#### 2.4.7. THALES MIRADOR EOTS

*MIRADOR* es un sistema electro-óptico digital, ligero y compacto para observación y seguimiento de objetivos. Este sistema de vigilancia capta los diseños de sigilo del enemigo.



Figura 57. Thales Mirador EOTS. Fuente:Thales Group.

#### 2.4.8. RADAR AN/SPS-55

Antena de tipo *Array* con dos caras de polarización lineal y circular. Funciona a una frecuencia de entre 9 y 10 GHz, generando 750 pps (pulsos por segundo). Tiene una potencia de 130 kW, una velocidad de rotación acimutal a 16 rpm y un alcance de 190 km.



Figura 58. Radar AN/SPS-55. Fuente: Buquesdeguerra.com



## Capítulo 12. MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

El metal en la industria naval empezó a utilizarse en antiguos buques de madera con el objetivo de blindarlos. En cualquier caso, solo se utilizaba para la protección exterior de la estructura de madera.

La Revolución Industrial trajo consigo la máquina de vapor y una mejora en el conocimiento del acero y la técnica del remachado. Gracias a estos fue posible el establecimiento del acero como material estructural.

La construcción mixta entre madera y acero iniciada en el siglo XIX, permitió el aumento de tamaño de los buques. Los primeros buques de hierro se construyeron a partir de 1790 y en 1880 aparecieron los primeros de acero soldado. La madera perdió uso en la construcción naval, en vista de la gran resistencia ofrecida por el hierro y su facilidad de ensamble.

En el siglo XX, el sistema de construcción modular en grada, introducido por la soldadura, optimizó los plazos, los recursos y los costes constructivos mediante la unión de bloques previamente fabricados en talleres.

Los talleres de ribera se encargaban de producir en sus instalaciones los elementos del casco del barco y llevarlos a la grada, donde los armaban. Producían piezas como las varengas, cuadernas, mamparos, esloras, palmejares o las chapas del forro. Y para ello utilizaban planchas de acero que mecanizaban mediante cilindros de curvar o aplanar, cizallas, remachadoras, etc.

El componente básico que se empleaba en la construcción naval era la plancha de acero. Las planchas se cortaban, conformaban y trabajaban de la forma necesaria para darles la configuración definida en el diseño. Por lo general, las planchas se cortaban con equipos automáticos de corte con soplete, y posteriormente se soldaban. Finalmente las planchas se enviaban a los talleres de construcción, donde se ensamblaban para formar otras unidades.

Ahora, dando un salto, nos trasladamos a la situación actual, de las últimas construcciones de la Armada se puede observar que, en general, para la construcción del buque LHD Juan Carlos I, se utilizó acero naval normal de límite elástico 235 MPa.

En ciertas zonas, como las cubiertas de carga rodada y cubierta de vuelo, se utilizó acero de alto límite elástico del tipo H-36 (límite elástico 355 MPa) con el fin de reducir el peso de la estructura.

También se usó H-36 con el mismo propósito anterior en elementos primarios de luz elevada y altas solicitaciones. Los aceros del JCI cumplen con las características indicadas en las reglas del Lloyd's Register of Shipping para buques mercantes, Parte 2, Capítulo 3.

Los buques BAM y las Fragatas F-100 de la Armada fueron construidos en acero AH-36, empleando otros materiales, de mejores prestaciones allí donde los requisitos de peso o estructurales lo requieran.

Para la construcción de nuestro buque, el material que generalmente emplearemos, será el acero de grado AH-36. En el caso de refuerzos de plancha y elementos primarios como bulárcamas, baos, palmejares y esloras, fundamentalmente, se emplearán perfiles tipo T.

El acero AH-36 será el material por excelencia en nuestra embarcación, a excepción de aquellas partes donde las reglas de la Sociedad de Clasificación exigían otro diferente.

Otros materiales, como las aleaciones de aluminio para la superestructura, se utilizarán con previa aprobación de la Sociedad de Clasificación.

Para las siguientes zonas de refuerzo, se empleará acero DH-55: traca de cinta, trancanil y pantoque.

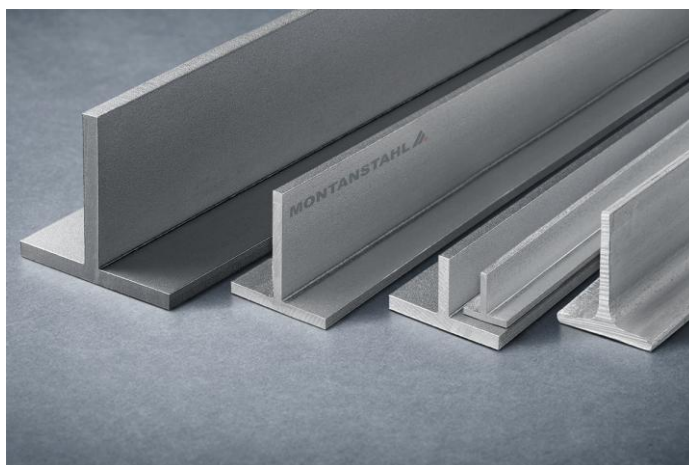


Figura 59. Perfil tipo T de acero inoxidable. Fuente: *Montanstahl*



# Capítulo 13. ARREGLO GENERAL

## 1. ESTRUCTURA

La división del buque para la supervivencia de la unidad en caso de emergencia la realizaremos mediante mamparos. Estos pueden clasificarse según su situación en el buque en transversales y longitudinales y, en cuanto a su función: mamparos principales estancos, mamparos estancos y mamparos menores.

### 1.1. MAMPAROS PRINCIPALES ESTANCOS

Estos mamparos tienen como misión el asegurar la compartimentación del buque, de tal forma que si por cualquier causa se inundan uno o varios compartimentos quede garantizada la "flotabilidad" y "estabilidad" del buque, por tanto estos mamparos deben de tener la rigidez suficiente para soportar las presiones hidrostáticas a que están sometidos.

Contribuyen a la resistencia transversal y longitudinal del buque, considerando a éste como viga, evitando que la estructura se deforme por efectos de balance, varadas y esfuerzos longitudinales Mamparo de Colisión de proa producidos durante el servicio.

Otro de los papeles importantes que desempeñan, es la misión de cortafuegos evitando que éste se propague de un compartimento a otro.

### 1.2. DISEÑO DE LOS MAMPAROS

La sociedad de clasificación establece que para buques de entre 65 y 85 m de eslora de flotación se deberán instalar 4 mamparos. Uno el de colisión (a proa); otro a popa, junto a la mecha del timón; otro dividiendo la cámara de máquinas en dos salas; y un último a proa de la misma.

Para buques menores a 200 m de eslora y sin bulbo, la SC establece una distancia de entre 0,05LR y 0,08LR. Se establecerá un valor intermedio generando un pique de proa que abarcará desde el extremo del buque hasta la cuaderna 90 (6 m de longitud).



La altura de los mamparos será desde la línea base hasta la cubierta continua más alta, es decir, la cubierta resistente. Atravesando el doble fondo, el cual tendrá una altura de 0,6 m a lo largo de toda la eslora del buque

Entre tanques almacén adyacentes con peligrosidad de contaminación cruzada, se instalarán cofferdams (entre tanques de diesel, aceites, agua, etc.).

La disposición del casco debe permitir la accesibilidad a todos los compartimentos bajo cubierta y cuenten con un medio de escape de acuerdo con la normativa. El acceso a estos deben obstruirse con los revestimientos de la cubierta o los muebles.

## **2. CAPACIDADES DE LOS TANQUES**

### **2.1. TANQUES DE COMBUSTIBLE**

#### **2.1.1. CONSUMOS DE COMBUSTIBLE**

Tomando como referencia las curvas Potencia-Velocidad de la *Figura 26.* , se han seleccionado las potencias correspondientes al valor máximo de la velocidad en cada uno de los rangos del perfil operativo. A partir de estos valores se obtienen los consumos de combustible de los equipos propulsores y diésel generadores.

Se fijan los valores de la velocidad de crucero en 15,6 nudos para la planta propulsora diesel; así como la velocidad máxima considerada en los cálculos será de 26 nudos, para la turbina.

Para el cálculo del consumo de combustible de la planta eléctrica, se ha considerado un consumo eléctrico de hotel constante de 2800 kW para todo el perfil operativo.



El consumo específico de los equipos propulsores ha sido suministrado por los fabricantes, siendo el de la turbina de 226,9 g/kW·h, para la velocidad máxima<sup>26</sup>. En el caso de los diésel propulsores se estima un consumo de 200 g/kW·h, en el momento de máxima eficiencia operativa del par motor<sup>27</sup>. Para los diésel generadores será de 214 g/kW·h<sup>28</sup>.

Sobredimensionaremos los consumos en un 10% para asegurar las condiciones de navegación adversas que se pueda encontrar el buque.

$$\text{- Consumo Turbina} = 0,2269 \text{ kg/kW} \cdot \text{h} \cdot 1,1 = 0,2496 \text{ kg/kW} \cdot \text{h}$$

$$\text{- Consumo diésel propulsor} = 0,200 \text{ kg/kW} \cdot \text{h} \cdot 1,1 = 0,220 \text{ kg/kW} \cdot \text{h}$$

En la *Tabla 14*. se muestran los consumos anuales de combustible de acuerdo al perfil operativo<sup>29</sup> y basado en 3.600 horas de funcionamiento anual.

**- CONSUMOS TURBINA DE GAS /AÑO:**

$$\textbf{Maniobra: } 24.909,66 \text{ kW} \cdot 0,2496 \text{ kg / (kW} \cdot \text{h)} \cdot 0 \text{ h /año} = 0 \text{ kg}$$

$$\textbf{Baja: } 24.909,66 \text{ kW} \cdot 0,2496 \text{ kg / (kW} \cdot \text{h)} \cdot 0 \text{ h /año} = 0 \text{ kg}$$

$$\textbf{Patrullaje: } 24.909,66 \text{ kW} \cdot 0,2496 \text{ kg / (kW} \cdot \text{h)} \cdot 0 \text{ h /año} = 0 \text{ kg}$$

$$\textbf{Alta: } 24.909,66 \text{ kW} \cdot 0,2496 \text{ kg / (kW} \cdot \text{h)} \cdot 540 \text{ h /año} = 3.357.423,61 \text{ kg}$$

$$\textbf{Sprint: } 24.909,66 \text{ kW} \cdot 0,2496 \text{ kg / (kW} \cdot \text{h)} \cdot 720 \text{ h /año} = 4.476.564,82 \text{ kg}$$

**- CONSUMOS DIÉSEL PROPULSOR /AÑO:**

$$\textbf{Maniobra: } 2.645,65 \text{ kW} \cdot 0,220 \text{ kg / (kW} \cdot \text{h)} \cdot 360 \text{ h /año} = 209.535,48 \text{ kg}$$

$$\textbf{Baja: } 2.645,65 \text{ kW} \cdot 0,220 \text{ kg / (kW} \cdot \text{h)} \cdot 540 \text{ h /año} = 314.303,22 \text{ kg}$$

<sup>26</sup> Ver características turbina en *Figura 35*.

<sup>27</sup> Ver características motore propulsores en *Tabla 10*.

<sup>28</sup> Ver características motor planta eléctrica en *Figura 32*.

<sup>29</sup> Ver perfil operativo en *Figura 27*.

**Patrullaje:**  $2.645,65 \text{ kW} \cdot 0,220 \text{ kg} / (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot 1440 \text{ h} / \text{año} = 838.141,92 \text{ kg}$

**Alta:**  $2.645,65 \text{ kW} \cdot 0,220 \text{ kg} / (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot 0 \text{ h} / \text{año} = 0 \text{ kg}$

**Sprint:**  $2.645,65 \text{ kW} \cdot 0,220 \text{ kg} / (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot 0 \text{ h} / \text{año} = 0 \text{ kg}$

- **CONSUMOS DIÉSEL GENERADOR /AÑO:**

**Maniobra:**  $2800 \text{ kW} \cdot 0,214 \text{ kg} / (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot 360 \text{ h} / \text{año} = 214.712 \text{ kg}$

**Baja:**  $2800 \text{ kW} \cdot 0,214 \text{ kg} / (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot 540 \text{ h} / \text{año} = 323.568 \text{ kg}$

**Patrullaje:**  $2800 \text{ kW} \cdot 0,214 \text{ kg} / (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot 1440 \text{ h} / \text{año} = 862.848 \text{ kg}$

**Alta:**  $2800 \text{ kW} \cdot 0,214 \text{ kg} / (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot 540 \text{ h} / \text{año} = 323.568 \text{ kg}$

**Sprint:**  $2800 \text{ kW} \cdot 0,214 \text{ kg} / (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot 720 \text{ h} / \text{año} = 431.424 \text{ kg}$

Velocidad	Horas	TG [T/año]	MMDD [T/año]	DDGG [T/año]
0 - 5 nudos	360	-	209,53	214,71
6 - 10 nudos	540	-	314,30	323,56
11 - 15 nudos	1440	-	838,14	862,84
16 - 20 nudos	540	3.357,42	-	323,56
> 20 nudos	720	4.476,56	-	431,42
Total	3600	7.833,98	1.361,98	2.157,12

Tabla 14. Consumos de combustible anual. Fuente: propia.

### 2.1.2. DIMENSIONAMIENTO TANQUES DE COMBUSTIBLE

Para la disposición propulsora CODOG se requiere que el buque transporte dos combustibles diferentes: fuel-oil para los motores diésel y gas-oil para la turbina de gas.

La densidad del fuel-oil es de  $950 \text{ kg/m}^3$ , y la del gas-oil  $840 \text{ kg/m}^3$ .

Consideramos una autonomía de 3.500 millas a la velocidad económica, puesto que creemos que es suficiente para satisfacer las travesías previstas para este tipo de buque.





### COMBUSTIBLE DIÉSEL PROPULSORES

El volumen de los tanques de combustible diesel para la planta propulsora viene dado por la siguiente fórmula de autonomía:

$$A = \frac{V_{comb} \cdot \rho \cdot V_b}{P \cdot C_e}$$

Siend:  $\rho$ , densidad del combustible [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];  $V_{comb}$ , Volumen tanque combustible [ $\text{m}^3$ ].  $V_b$ , Velocidad buque a la que se consideran los consumos [ $\text{m}/\text{s}$ ];  $P$ , potencia del motor [ $\text{kW}$ ];  $C_e$ , consumo específico del combustible [ $\text{kg}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ].

De la ecuación aislamos el volumen, y resulta:

$$V_{comb} = \frac{A \cdot P \cdot C_e}{\rho \cdot V_b} = \frac{3500 \text{ millas} \cdot \frac{1852 \text{ m}}{\text{milla}} \cdot 2.645,65 \text{ kW} \cdot 0,22 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}}}{950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 15,6 \text{ kn} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1,944 \text{ kn}}} = 137,47 \text{ m}^3 \quad (41)$$

El volumen de combustible a bordo para los diesel propulsores será de: 137.470 litros.

La capacidad de los tanques de combustible es el total de la suma de la capacidad de los tanques de almacén y los tanques de servicio diario.

$$V_{comb} = V_{alm} + V_{sd} \quad (42)$$

Los tanques de servicio diario para la propulsión han de tener una capacidad suficiente para abastecer a cada motor durante 24 h. Por lo que la capacidad de cada tanque de servicio diario vendrá dada por la fórmula:

$$V_{sd}(P) = \frac{P \cdot C_e \cdot 24h}{\rho} = \frac{1322,83 \text{ kW} \cdot 0,22 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 24h}{950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 7,35 \text{ m}^3 \quad (43)$$

Multiplicando este volumen por la cantidad de motores propulsores (en nuestro caso 2) se obtiene el volumen de los tanques de servicio diario de 14.700 litros.

### COMBUSTIBLE DIÉSEL GENERADORES

Para obtener la cantidad de combustible necesario para abastecer la planta eléctrica se calcula la cantidad de autonomía, en días de navegación, que puede abarcar el buque. Esto se determina a partir del rango de acción del patrullero, en metros, partido la velocidad a la cual se recorre el mismo.

$$\text{Días} = \frac{\text{Autonomía}}{\text{Velocidad}} = \frac{3500 \text{ millas} \cdot \frac{1852 \text{ m}}{\text{milla}}}{15,6 \text{ kn} \cdot \frac{0,5144 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ kn}}{1 \text{ kn}}} = 9,35 \text{ días} \quad (44)$$

Por lo tanto deberemos de llevar a bordo combustible suficiente como para generar energía eléctrica durante 225h.

$$V_{comb} (G) = \frac{P \cdot C_e \cdot 225h}{\rho} = \frac{2800 \text{ kW} \cdot 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 225h}{950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 141,92 \text{ m}^3 \quad (45)$$

Los tanques de servicio diario para el caso de los diesel tendrán una capacidad de:

$$V_{sd} (G) = \frac{P \cdot C_e \cdot 24h}{\rho} = \frac{2800 \text{ kW} \cdot 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 24h}{950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 15,14 \text{ m}^3 \quad (46)$$

### VOLUMEN TANQUES ALMACEN

Finalmente, el volumen de los tanques de almacén se obtendrá de la diferencia entre el volumen de combustible necesario para ambos tipos de motores y el volumen de los tanques de servicio diario de los diferentes motores.

$$\begin{aligned} V_{alm} &= (V_{comb_{propulsores}} + V_{comb_{generadores}}) - (V_{sd_{propulsores}} + V_{sd_{generadores}}) \\ &= 137,47 + 141,92 - (14,7 + 15,14) = 249,55 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (47)$$



## 2.2. TANQUES AGUA DULCE

El cálculo de los tanques de agua necesarios se estimará a partir del número de personas abordo. La tripulación estará formada por una dotación de 50, entre marineros y oficiales, y podrán llegarse a aloja 20 pasajeros.

Considerando un consumo por persona y día de 100 litros, para el cálculo de la capacidad de los tanques de agua dulce para una autonomía de 10 días, se obtiene una capacidad mínima de tanques siguiente:

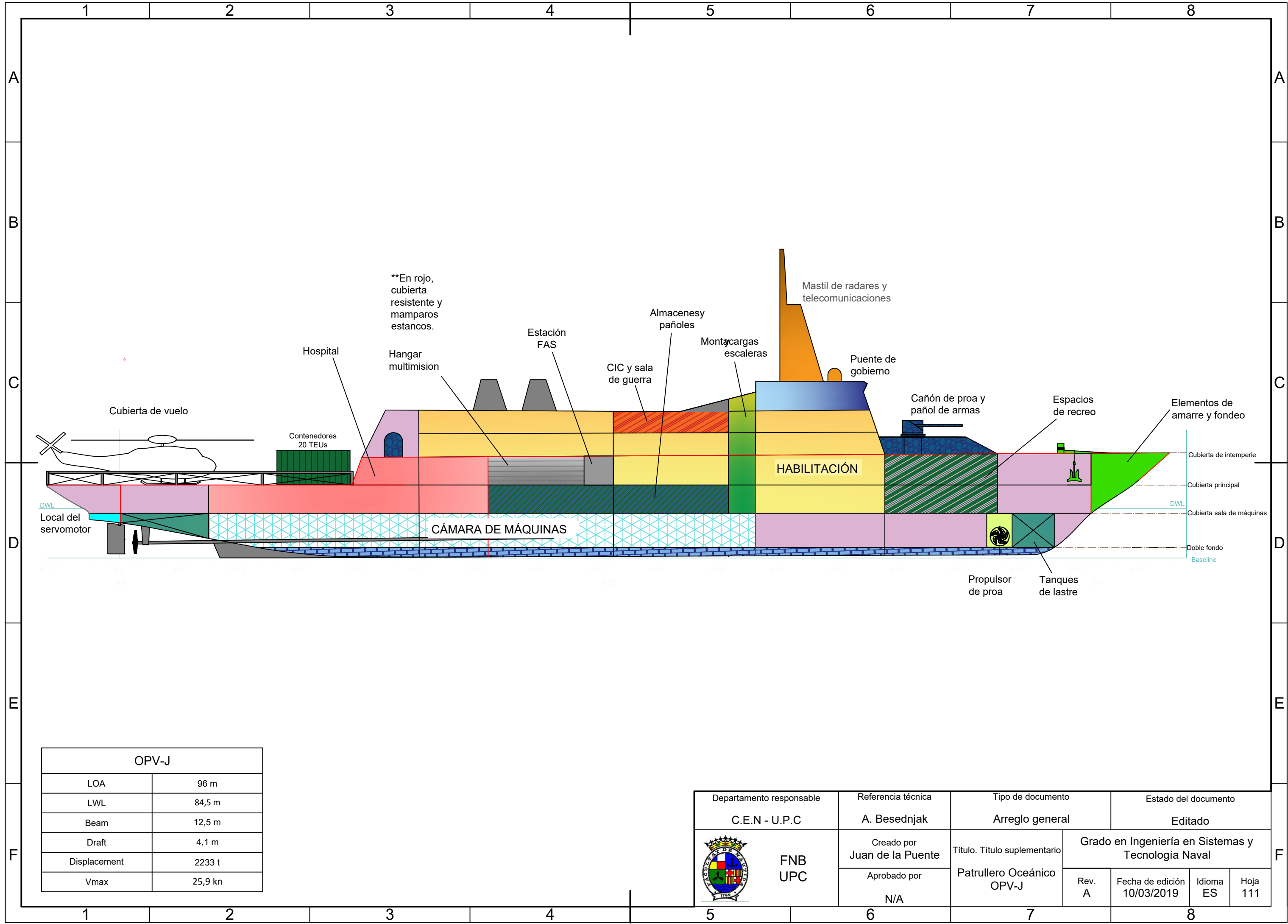
$$V_{AD} = 65 \text{ pasajeros} \cdot \frac{100 \text{ litros}}{\text{pasajero} \cdot \text{día}} \cdot 9,35 \text{ días} = 65.000 \text{ litros} \quad (48)$$

Los tanques de agua dulce tendrán un volumen total de 65 m<sup>3</sup>.


## 3. PLANO DE ARREGLO GENERAL

Una vez establecido las divisiones más significativas de la estructura, pasaremos a representar estos los diferentes compartimentos y secciones del buque en un plano longitudinal de nuestro patrullero, clarificando de esta forma todos los aspectos expuestos en el proyecto.





OPV-J	
LOA	96 m
LWL	84,5 m
Beam	12,5 m
Draft	4,1 m
Displacement	2233 t
Vmax	25,9 kn

Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
C.E.N - U.P.C	A. Besednjak	Arreglo general		Editado			
 FNB UPC	Creado por Juan de la Puente	Título. Título suplementario		Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval			
	Aprobado por  N/A	Patrullero Oceánico OPV-J		Rev. A	Fecha de edición 10/03/2019	Idioma ES	Hoja 111



## Capítulo 14. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

Una vez cubiertos todos los apartados del estudio, se ha determinado y validado las formas del casco. Por esto, ahora ya tenemos la posibilidad de obtener los planos de formas del buque.

Mediante el programa *Maxsurf*, se exportarán las diferentes vistas del casco a una extensión compatible con *Autocad* (.dxf), donde se podrá editar el dibujo obtenido seleccionando las líneas que nos interesan y clarificando los espacios y textos.

Una vez establecido el diseño del casco, se procede a incluir en el todo lo necesario para su gobierno: los ejes propulsores, los timones y el puente de gobierno, el cual situaremos en lo alto de la superestructura.

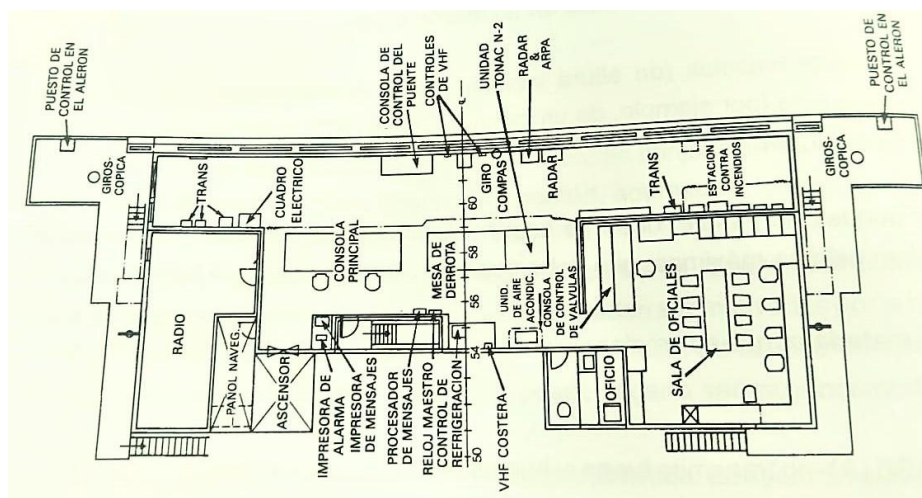


Figura 60. Esquema del puente de gobierno. (Fuente: Principios de ingeniería Naval ; Victoria Meizoso, Jesús Ramón. Tórculo, 1997.)

Para la edición del patrullero se empleará el programa de diseño grafico *Rhinoceros*. Para llevar a cabo la edición tridimensional, se exporta el archivo del casco finalizado en *Maxsurf* al formato necesario para trabajar en *Rhinoceros* (.3dm). A partir de este se irán incluyendo las superficies necesarias para ir conformando las diferentes partes de la obra muerta.



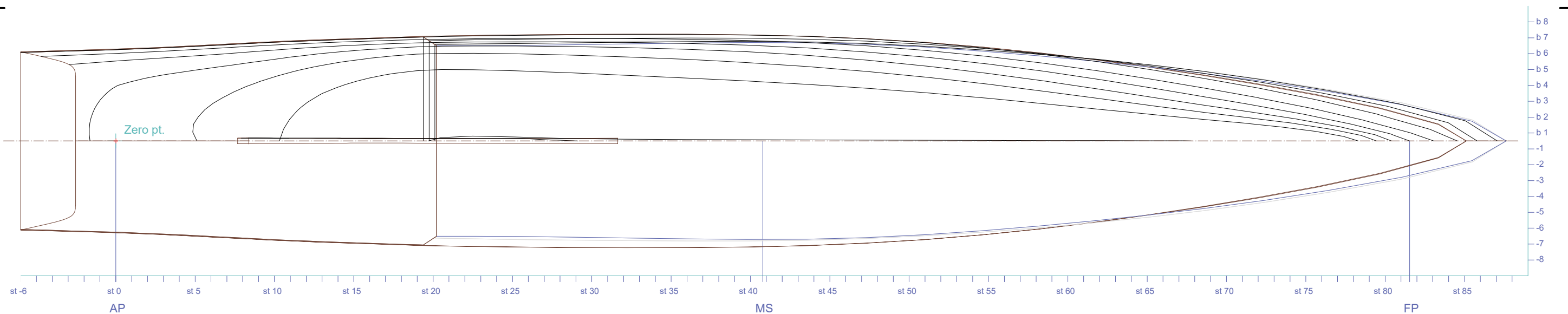
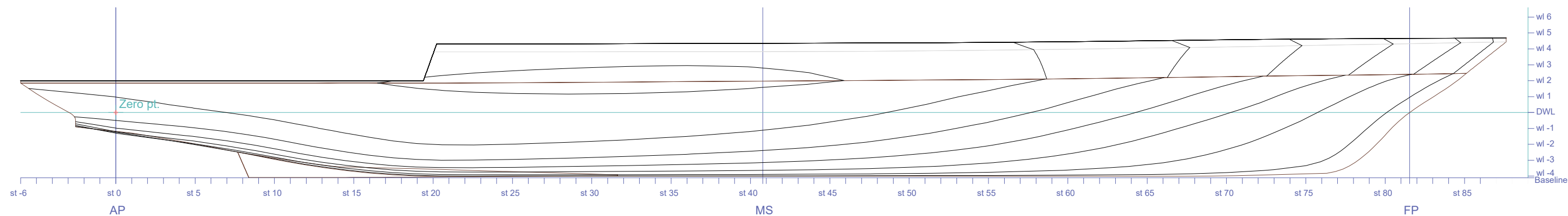
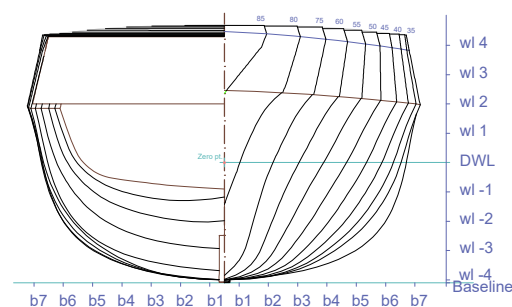
En la zona de popa de la superestructura se incluirán dos chimeneas, para el escape de los humos generados en las diferentes cámaras de máquinas. En la parte superior del puente se incorporará un mástil en el cuál irán instaladas todas las antenas y equipos de vigilancia de última generación.

Delante del puente, en el pedestal, se ubicará el cañón de proa. En la parte trasera de la superestructura se asentarán los dos caños *C/WS*, uno a cada banda. También en popa se dibuja la cubierta de vuelto junto al accesorio estrella del patrullero, el helicóptero.


En cuanto a los RHIBs, se ubicaran dentro de la superestructura, en un hangar destinado a tal efecto. Se hará uso de la grúa para ponerlas a flote y su posterior recuperación, a través de una puerta elevadiza de tipo garaje.

En este programa se podrá obtener los planos renderizados del buque, con las diferentes vistas. Además, incluyendo un fondo celeste y una superficie marítima para la línea de flotación, se genera una representación de la situación de navegación con el calado de diseño.





OPV-J	
LOA	96 m
LWL	84,5 m
Beam	12,5 m
Draft	4,1 m
Displacement	2233 t
Vmax	25,9 kn

Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
C.E.N - U.P.C	A. Besednjak	Plano de formas		Editado			
 FNB UPC	Creado por Juan de la Puente	Título. Título suplementario  Patrullero Oceánico OPV-J	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval				
	Aprobado por  N/A		Rev. A	Fecha de edición 05/03/2019	Idioma ES	Hoja 1/1	



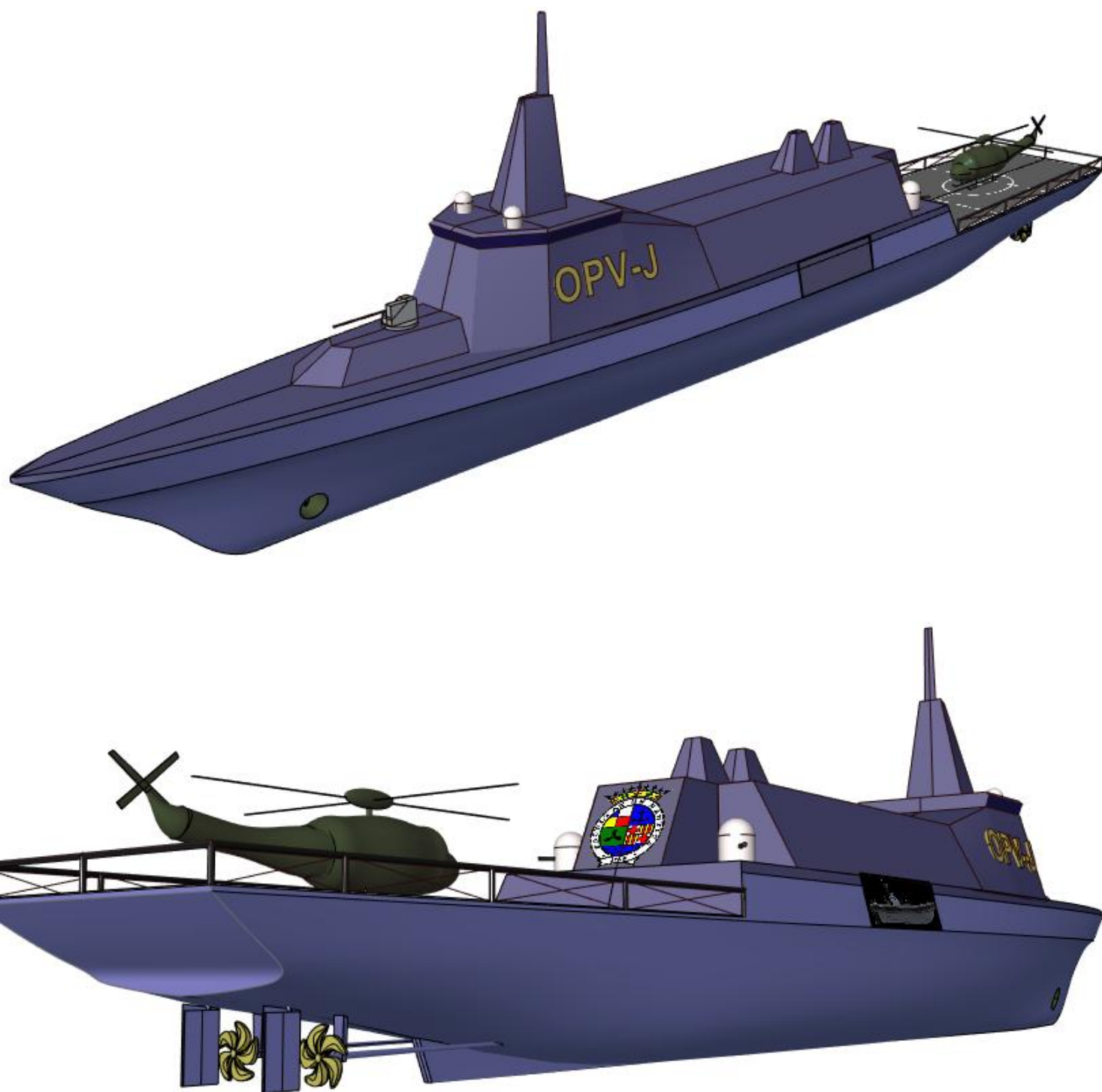


Figura 61. Vistas en perspectiva del modelo tridimensional del buque. Fuente: propia.

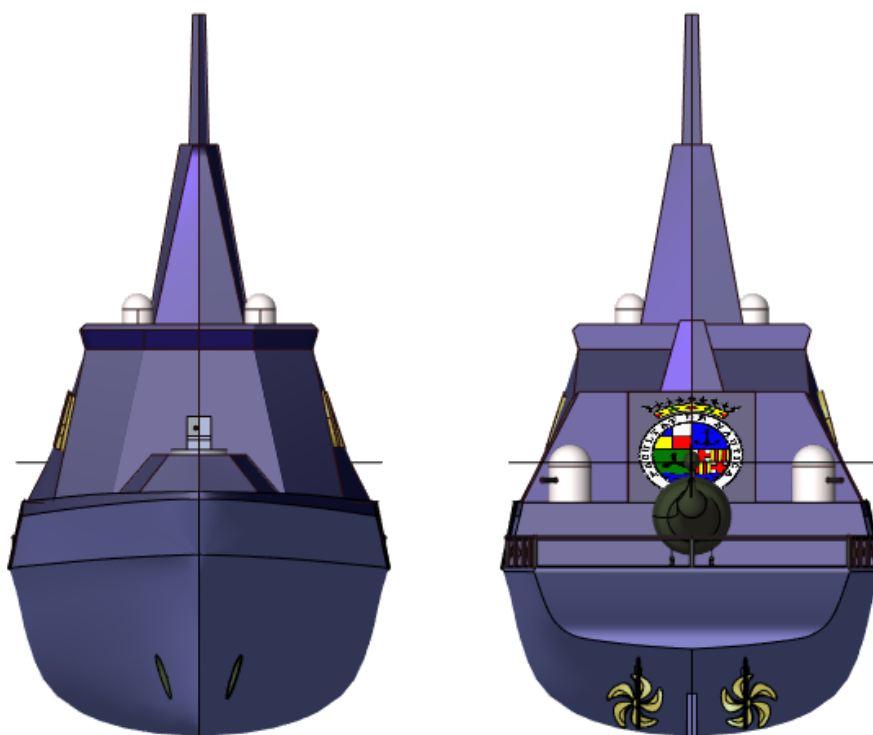


Figura 62. Vista frontal de la proa y popa del patrullero. Fuente: propia.

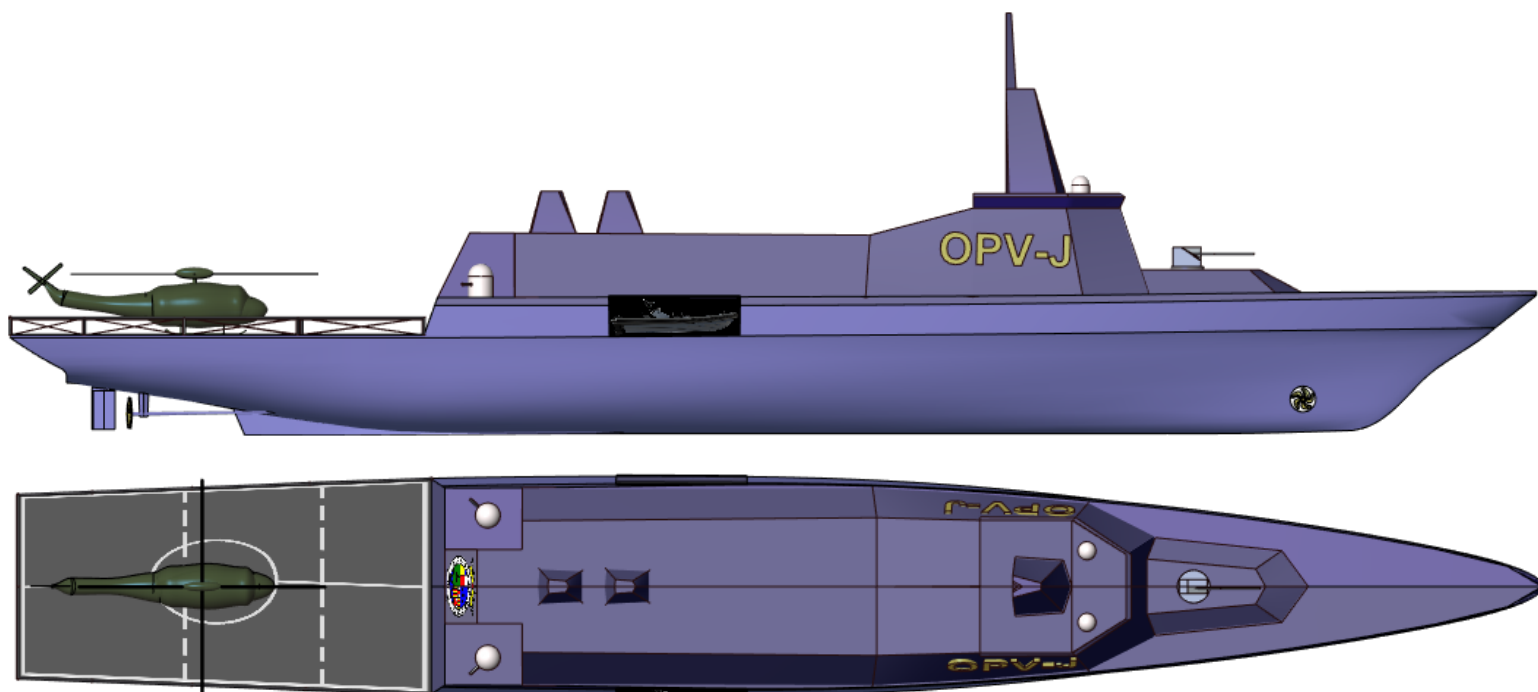


Figura 63. Vista longitudinal del costado y planta del patrullero. Fuente: propia.

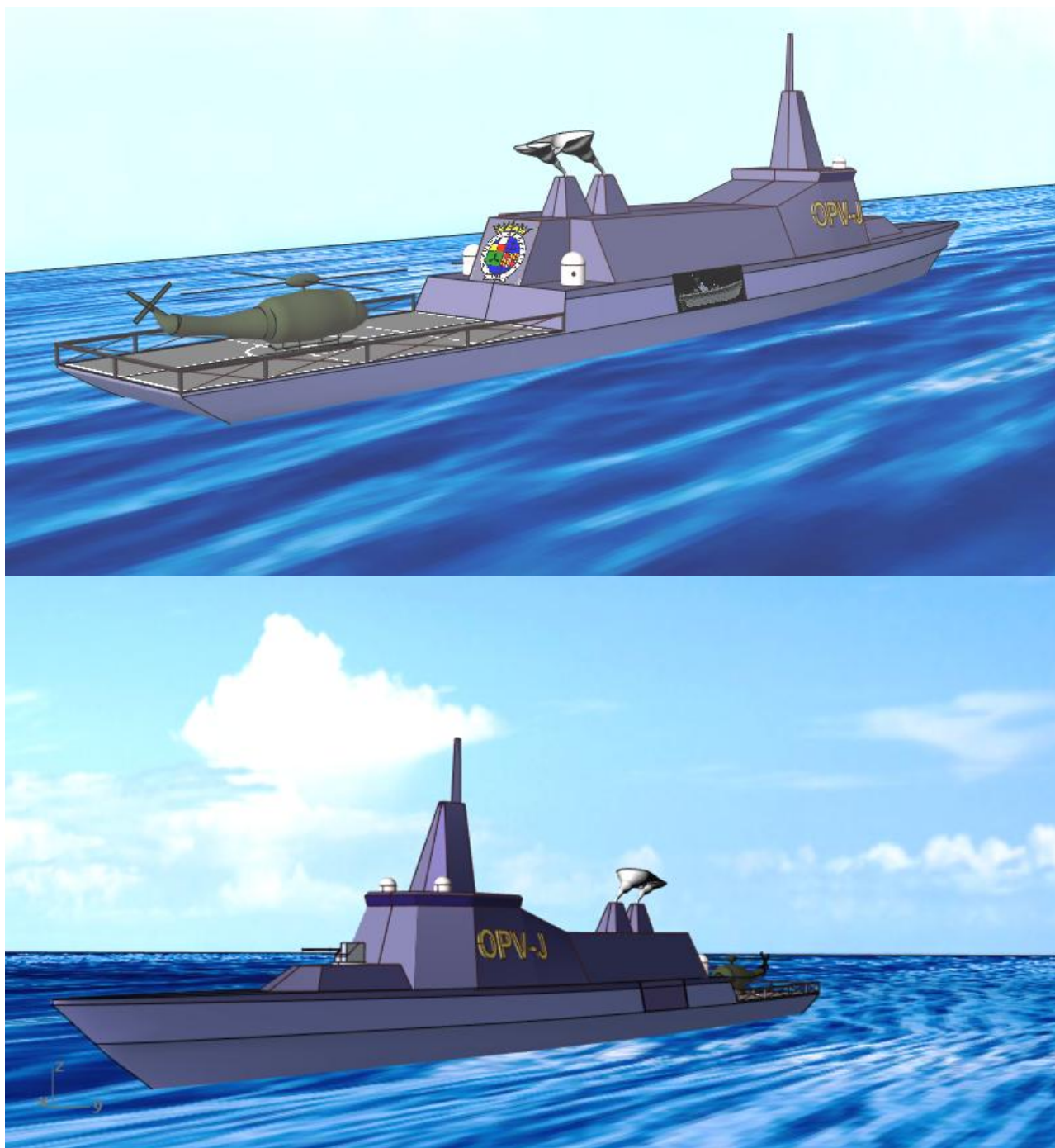


Figura 64. Renderizado del patrullero en navegación. Fuente: propia.





## Capítulo 15. CONCLUSIONES

En los objetivos de este trabajo se proponía el reto de estudiar y diseñar un nuevo buque para la actualización de los patrulleros de la Armada, partiendo de embarcaciones actuales de características similares. El objetivo principal del proyecto era el de conocer cómo se desarrolla el proceso de diseño de una embarcación militar, para poder profundizar en este ámbito del sector.

Cuando se estableció el objetivo principal, se definió, también, otros motivos o pequeños retos que se querían alcanzar. El primero fue el de profundizar en el conocimiento de herramientas de análisis y modelado de formas como son *Autocad*, *Rhinoceros* y *Maxsurf*. Una parte del tiempo empleado en la realización del proyecto ha tenido que ser dedicado a aprender y desarrollar mis conocimientos en estos programas para ser capaz de resolver las distintas situaciones.

Otro de los retos y objetivos que se quería afrontar era poner a prueba las capacidades personales para trabajar en un proyecto de grandes dimensiones como es este. En general, puedo afirmar que, a nivel personal, he aprendido a organizarme, a priorizar; a sintetizar; y, sobre todo, a replantear varias veces las ideas antes de modelarlas. También he tenido que corregirlas, pues no siempre han sido acertadas.

En cuanto a la resolución de los problemas que se han ido presentando a lo largo del proyecto, y el resultado final del mismo, es bastante satisfactorio. En este sentido, durante el desarrollo del proyecto, me fui dando cuenta de la complejidad del proceso, la importancia de organizar bien las tareas y contemplar distintas posibilidades y métodos, para poder escoger el procedimiento más adecuado.

Desde el punto de vista práctico y una vez concluido el proyecto, se ha obtenido un sistema propulsivo formado por dos ejes con hélices de paso variable de cuatro palas, junto con una planta propulsiva combinada del tipo CODOG. Esta está formada por una turbina de gas LM2500 de GE, para las altas velocidades; y dos motores marinos diésel propulsores D2862 LE436 de la marca MAN, para la propulsión a la velocidad económica.





Analizando el sistema propulsivo del buque base real, sin entrar mucho en los detalles, una de las cosas que salta a la vista es la diferencia de potencia máxima instalada de 17.600 kW, con cuatro motores diésel de 4.400 kW cada uno, en comparación con los 24.900 kW de la turbina de gas.

Esta diferencia de potencia se debe a distintos factores. Por una parte, la perfecta armonización del casco para la reducción de potencia necesaria a instalar, por parte del buque real; también se obtiene cierto error por el método estadístico para el cálculo de la resistencia; finalmente, esta falta de validez en los resultados, es debido a la aproximación en valores del rendimiento entre la hélice y el motor.

Pese a ello, cabe destacar que para fases prematuras de dimensionamiento de un buques, los métodos estadísticos para predecir la resistencia al avance, como es el caso del Método de *Holtrop* y *Mennen*, son muy útiles ya que permiten obtener aproximaciones de distintos buques con gran rapidez y sin requerir de un gran nivel de conocimiento en temas más específicos. Por esto, se recomienda la creación un modelos físico, a escala, para la obtención de la resistencia real.

En el caso del diseño del casco, el método seguido es el de la derivación de formas. Una vez obtenidas las formas, creo que finalmente no se empleó el método más adecuado, ya que habría sido mucho más bonito el ensayo de unas formas propias, después de la gran cantidad de horas empleadas para el diseño de las mismas. Esto fue debido a la negativa de encontrar una solución a los constantes errores obtenidos en *Maxsurf* durante las fases prematuras del proyecto.

Por último, destacar la importancia que tiene este proyecto preliminar, ya que me ha permitido representar tridimensionalmente el buque completo, con un buen diseño del codaste, casco y superestructura. También creo que se ha obtenido una buena base para el desarrollo y posible construcción del patrullero, y sé en qué puntos o sobre qué aspectos debe evolucionar el proyecto: la estabilidad y el diseño estructural.

En general, creo que se ha cumplido el objetivo principal de conocer el procedimiento para el diseño de embarcaciones militares y que el diseño alcanzado cumple las expectativas propuestas desde un principio. De todas formas, para un proyecto enfocado a la utilización y aprendizaje de software utilizados en la ingeniería naval, todos los datos obtenidos son buenas aproximaciones en general.



# Bibliografía

## Libros

- [1] IHS Jane's (2015). Jane's fighting ship. Edición 116. Londres. Fecha consulta: 12/11/2018.
- [2] Teale, J. (2009). Cómo diseñar un barco. Madrid: Editorial Tutor. Fecha consulta: 12/01/2019.
- [3] Christopher Chant (2006). Barcos de Guerra. Editorial LIBSA. Fecha consulta: 15/01/2019.
- [4] BATCHELOR John. The Complete Encyclopedia of Warships 1798-2006, Steam, Turbine, Diésel & Nuclear. REBO, 2007. Fecha consulta: 15/01/2019.
- [5] Busquets i Vilanova, Camil (1997). Buques de Guerra del año 2000. Agualarga Editores. Consulta: 15/01/2019.
- [6] R. Thorntoon, James. Construcción y reparación de buques y embarcaciones de recreo. Enciclopedia OIT, tomo 3, Artículo 92. Fecha consulta: 07/02/2019.

## Revistas

- [7] ARTICULO: Ricardo Alvariño Castro, La plataforma de los modernos buques de combate. Revista Ingeniería Naval Nº 635-637, 1988. Fecha consulta: 15/12/2019.
- [8] ARTICULO: Oscar Paredes Vignolo, La turbina a gas en la propulsión naval. Revista de Marina Nº 675, 1970. Fecha consulta: 28/01/2019.
- [9] Revista General de Marina, Nº 275, Madrid, diciembre 2018. Fecha consulta: 20/02/2019.
- [10] Warship Technology, January 2019. Surface combatants, auxiliary vessels, Naval Classification, Coast Guard vessels. London, 2019. Fecha consulta: 20/02/2019.

## Páginas web

- [11] Histarmar. Fecha consulta: 27/11/2018.  
<http://www.histarmar.com.ar/nomenclatura/ClasificacionBuquesMilitares.htm>
- [12] Homeland security - technology. Fecha consulta: 08/12/2018  
<https://www.homelandsecurity-technology.com/projects/national-security-cutter-nsc-us-coast-guard/>



- [13] Armada, Ministerio de defensa. Fecha consulta: 15/12/2018.  
<http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquesunidades/prefLang-es/04bugaccionmaritima--04fichtecnica-es>
- [14] Infodefensa. Opinión industria defensa colombiana armada. Fecha consulta: 26/12/2018.  
<https://www.infodefensa.com/latam/2017/12/06/opinion-industria-defensa-colombiana-armada.php>
- [15] Federation of american scientists. Fecha consulta: 05/01/2019.  
<https://fas.org/>
- [16] Sea Forces. Fecha consulta: 05/01/2019.  
[www.seaforces.org](http://www.seaforces.org)
- [17] Ministerio de Defensa, Gobierno de España. Fecha consulta: 14/01/2019.  
<http://www.defensa.gob.es/Galerias/documentacion/revistas/2012/red-287-fragata-f110.pdf>
- [18] Nautic Expo. Fecha consulta: 22/01/2019.  
<http://www.nauticexpo.es/prod/ymv-crane-and-winch-systems/product-63904-515706.html>
- [19] Navantia. Sección de productos y servicios: patrulleros. Fecha consulta: 12/02/2019  
<https://www.navantia.es/es/productos-y-servicios/patrulleros/>
- [20] Opex Energy. Fecha consulta: 21/03/2019.  
[http://opex-energy.com/en/ciclos/principios\\_de\\_Gas\\_CTCC.html](http://opex-energy.com/en/ciclos/principios_de_Gas_CTCC.html)
- [21] Maquinas de barcos: Uso de turbinas de gas en la propulsión. Blogspot, 2009. Fecha consulta: 21/03/2019.  
<http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2009/08/uso-de-turbinas-de-gas-en-la-propulsion.html>
- [22] Maquinas de barcos: El sistema de propulsión CODAG. Blogspot, 2009. Fecha consulta: 21/03/2019.  
<http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2008/12/el-sistema-de-propulsin-codag-motores.html>
- [23] Tecnología Marítima: Turbinas de gas aeroderivadas. Blogspot, 2017. Fecha consulta: 25/03/2019.  
<http://tecnologia-maritima.blogspot.com/2017/05/turbinas-de-gas-aeroderivadas-para-la.html>
- [24] MTU, Rolls Royce Power Systems. Fecha consulta: 15/04/2019.  
<http://www.mtu.de/maintenance/industrial-gas-turbine-services/>
- [25] General Electric. Fecha consulta: 15/04/2019.  
<https://www.ge.com/power/gas/gas-turbines/lm2500>
- [26] MAN, Marine Engines & Systems. Fecha consulta: 15/04/2019.  
<https://marine.man-es.com/>
- [27] Weapons and Warfare. Type 23 Class ASW frigate. Fecha consulta: 20/04/2019.  
<https://weaponsandwarfare.files.wordpress.com/2015/10/dukeplan.jpg>
- [28] Save the Royal Navy. Fecha consulta: 20/04/2019.  
<https://www.savetheroyalnavy.org/the-type-26-frigate-mission-bay-part-1-design-and-development/>
- [29] Thales Group. Fecha consulta: 29/04/2019  
<https://www.thalesgroup.com/en/activities/defence/naval-forces>

# ANEXOS



## Anexo 1. REQUEST FOR INFORMATION (RFI)

THIS REQUEST FOR INFORMATION (RFI) IS FOR INFORMATIONAL AND PLANNING PURPOSES ONLY AND SHALL NOT BE CONSTRUED AS A REQUEST FOR PROPOSAL, REQUEST FOR QUOTE, OR AS AN OBLIGATION ON THE PART OF THE GOVERNMENT. THERE WILL NOT BE A SOLICITATION, SPECIFICATIONS, OR DRAWINGS AVAILABLE. THIS ANNOUNCEMENT MAY OR MAY NOT TRANSLATE INTO AN ACTUAL PROCUREMENT(S) IN FUTURE YEARS. THERE IS NO FUNDING ASSOCIATED WITH THIS ANNOUNCEMENT.

**Request for Information:** The Navy is interested in market information pertinent to a future small surface combatant (including modified Littoral Combat Ships (LCS)). In particular, whole ship design information, including cost, on mature ship designs and mature concept designs that have the capability and lethality generally consistent with a small surface combatant is desired.

The Navy is interested in the perspective of experienced shipbuilders, ship design agents and large system integrators on how their ship design supports the roles and missions of a small surface combatant, and cost information, especially the cost drivers, associated with the level of capability inherent in their designs (i.e., how capability drives cost).

The information is requested to be organized in the following manner:

- I. Ship Design Description and Characteristics
- II. Mission, CONOPs and Performance Assessment
- III. Cost and Schedule Estimates
- IV. Innovation and Affordability

I. Ship Design Description and Characteristics. Provide the usual and customary naval architecture, marine engineering and warfare systems particulars to include, but not limited to, the following:

- a. Naval Architecture:
  - i. Hull Type
  - ii. Hull Body Plan
    1. Inboard Profile
    2. General Arrangements
    3. Topside Arrangements
  - iii. Design Standards: NCDS (Naval Combatant Design Specification), NVR (naval vessel rules), HSNC (high speed naval crafts), SVR (vessel rules), etc.)
  - iv. Hull Material
  - v. Superstructure Material
  - vi. Topside Design and flexible, modular attributes
  - vii. Length Overall
  - viii. Length Between Perpendiculars
  - ix. Beam, max
  - x. Beam at the waterline
  - xi. Full Load Displacement
  - xii. Single Digit Weight Report (including lightship displacement, design and builder's margins, loads, include centers of gravities)
  - xiii. Draft (Full Load)
  - xiv. Air Draft (Light Ship)
  - xv. Stability (intact and damaged stability and the stability criteria)
  - xvi. Service Life
  - xvii. Service Life Allowance for weight



- xviii. Service Life Allowance for KG
- xix. Shock, Vibration, and Environmental Analysis and Qualifications
- xx. Flexible and modular attributes of hull and general arrangements
- b. Marine Engineering:
  - i. Propulsion Plant Description
  - ii. Electric Plant Description
  - iii. Auxiliaries Description
  - iv. Machinery Control System Description
  - v. Max Speed
  - vi. Sustained Speed
  - vii. Range at Sustained Speed
  - viii. Range at endurance speed
  - ix. Manning and Crew Accommodations to include Officer, Chief Petty Officer, Enlisted, mixed gender
  - x. Underway days of Independent Operations (crew accommodations and habitability)
  - xi. Underway Replenishment Capabilities
  - xii. Redundant mechanical systems
  - xiii. Segregated critical systems
  - xiv. Firefighting
  - xv. Dewatering
  - xvi. Shock, Vibration, and Environmental Analysis and Qualifications
  - xvii. Medical/First aid
  - xviii. Margins and Service Life Allowances for electrical power and chill water
- c. Warfare Systems:
  - i. Ship Control and Navigation
  - ii. Communications
  - iii. Sensors
  - iv. Weapons
  - v. Electronic Warfare
  - vi. Combat Management System
  - vii. Command and Control
  - viii. Ship Network Architecture (M&E, Communications, Navigation, combat systems, administration...)
  - ix. Shock, Vibration, and Environmental Analysis and Qualifications
  - x. Open Systems Architecture Standards
  - xi. Flexible Infrastructure and Modular Payload Characteristics

II. Mission, CONOPs and Performance Assessment. Performance and effectiveness analysis should be submitted that accurately represents the capabilities asserted in the submitted design particularly in the areas of surface warfare, undersea warfare, air warfare, mine warfare, lethality, survivability, endurance, range and speed.

The Navy is particularly interested in how the ship design fits within the operational concept for a small surface combatant, and to what extent the ship's capabilities are dependent on operations within a supporting/supported force structure as phases of operations proceed from peacetime presence to full scale conflict. The intent in requesting this information is to fully understand your concept for integrating your small surface combatant design into naval and Joint force operations.

Provide a description of the operational environment and concept of operations in which the ship is intended to operate. Additionally, identify challenging and/or prohibitive environments for independent operations and your thoughts on mitigating these challenges.

III. Cost and Schedule Estimates. The Navy is interested in estimated cost and schedule information for designing, building, testing and delivering the first ship and a notional class of 20 small surface combatants. The Navy is interested in all pertinent data and assumptions related to the provided estimates, to the lowest level available, and requests information be provided in the following format:

- a. Acquisition strategy
  - i. Procurement profiles
  - ii. Schedule:
    - 1. Long Lead Time
    - 2. Start of Construction

- 3. Launch
      - 4. Delivery
    - iii. Build /contracting
  - b. Ship Costs
    - i. R&D
    - ii. Procurement:
      - 1. Engineering:
        - a. Non-Recurring / Detailed Design
        - b. Recurring
      - 2. Ship Production:
        - a. Lead Ship:
          - i. Labor Hours (Touch and Support)
          - ii. Material
        - b. Follow Ships:
          - i. Labor Hours (Touch and Support)
          - ii. Material
          - iii. Learning Curve
          - iv. Economic Order Quantity / Bulk Purchase Breakpoints - Potential for Material and/or Labor savings if a certain number of units is procured in a certain timeframe / conditions (e.g., 3-5 ships in a year will save X% or a block or MYP contracting scenario for Y ships will save Z%)
    - 3. Ship System Cost Divers
    - 4. System / Requirements / Capabilities that drive costs (e.g., Propulsion, Flexible Infrastructure)
- c. Combat Systems Costs
  - i. R&D:
    - 1. System Specific Development
    - 2. Integration of Systems
    - 3. Test and Evaluation
  - ii. Procurement:
    - 1. Systems
      - a. Lead
      - b. Follow
    - 2. Platform Installation, Integration and Testing
- d. Operations and Support Costs
  - i. Manning
    - 1. Crew
    - 2. Shore Support
    - 3. Training
  - ii. Crewing Philosophy
  - iii. Operations
    - 1. Fuel Costs
    - 2. OP-Tempo
      - a. Speed-Time profile and fuel burn
      - b. Days Underway
  - iv. Maintenance Costs:
    - 1. Organizational and Intermediate Maintenance
    - 2. Depot
    - 3. Modernization
- v. Service Life Assumptions

IV. Innovation and Affordability. The Navy is also interested in any innovative acquisition and shipbuilding approaches to include strategies that utilize build-to-print of existing mature designs, maximize the capabilities of the shipbuilding industrial base, cost effectively deliver small surface combatant capabilities and requirements, and provide for and maintain a competitive environment. Provide a discussion on the benefits, barriers and challenges associated with the innovative approaches offered and recommended solutions.





## Anexo 2. LAS TURBINAS DE GAS

### A1. INTRODUCCIÓN

Las turbinas de gas son turbo-máquinas que pertenecen al grupo de máquinas térmicas generadoras. La franja de operación de estas comprende desde pequeñas potencias (30 KW para las micro-turbinas) hasta 500 MW para los últimos desarrollos. De esta forma, compiten tanto con los motores alternativos (ciclos termodinámicos OTTO y DIÉSEL) como con las instalaciones de vapor de pequeña y media potencia.

Las ventajas principales de este tipo de propulsión son el reducido peso y volumen, en relación a la potencia generada y la flexibilidad operacional. Estas máquinas rotativas no poseen rozamientos entre superficies sólidas, como los que se producen entre el pistón y la camisa en los motores alternativos, lo que se traduce en un menor consumo de lubricantes y una reducción de problemas de equilibrado. Además de no estar en contacto los productos de combustión ni con superficies calientes.

Esta ventaja ha generado un claro aumento en la demanda de estas máquinas para el uso en determinadas aplicaciones, como por ejemplo la generación de electricidad o la propulsión de buques y aviones.

Las turbinas de gas prácticamente no tienen necesidad de refrigeración, lo que facilita en gran medida su instalación. Una de sus principales ventajas es la baja inercia térmica, la cual les permite alcanzar su plena carga en tiempos muy bajos, lo que las hace ideales cuando se necesita un rápido aumento la velocidad del buque, solicitando un pico de demanda.

En comparación con las turbinas de vapor y los motores alternativos, la simplicidad de las turbinas de gas permite un sencillo mantenimiento y una elevada fiabilidad. Fácilmente una instalación de generación eléctrica, a partir de una turbina de gas, puede tener unos valores de disponibilidad y fiabilidad cercanos al 95% con un mantenimiento adecuado.

No obstante, en este tipo de máquina tenemos un bajo rendimiento (35%) comparado con un motor diésel que podrían llegar al 50%. Otro inconveniente que podemos observar es la alta velocidad de rotación.

Normalmente se entiende por turbina de gas el conjunto formado por los siguientes elementos:

- Compresor, responsable de la elevación de presión del fluido de trabajo.

- Quemador, aporta el calor al fluido.
- Elemento expansor, o turbina propiamente dicha.

## A2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Una turbina de gas es un motor térmico rotativo de combustión interna, donde a partir de la energía aportada por un combustible se produce energía mecánica y se genera una importante cantidad de calor en forma de gases calientes y con un alto porcentaje de oxígeno.

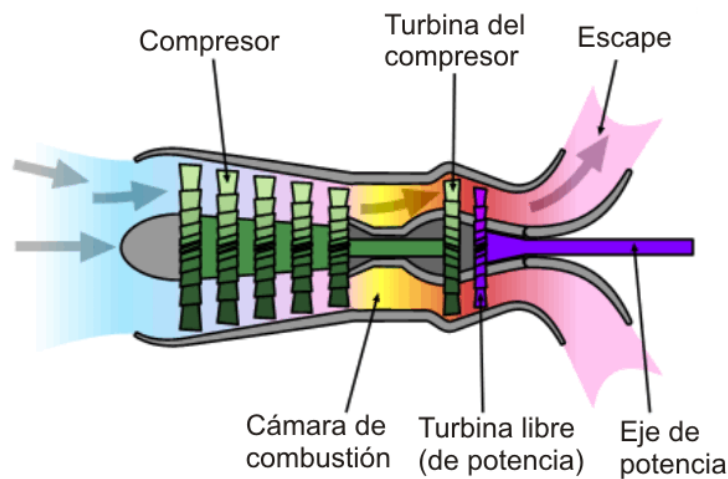


Figura A1. Flujos en una turbina de gas.

El ciclo térmico que representa esta máquina es el ciclo Brayton. La máquina sigue un ciclo abierto, puesto que se renueva continuamente el fluido que pasa a través de ella. El aire es aspirado de la atmósfera y comprimido para después pasar a la cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible y se produce la ignición. Los gases calientes, producto de la combustión, fluyen a través de la turbina. Allí se expansionan y mueven el eje, que acciona el compresor de la turbina y el alternador.

Una variación del sistema de turbina simple (Brayton) es el de añadir un regenerador. El regenerador es un intercambiador de calor que aprovecha la energía de los gases calientes de escape al precalentar el aire que entra a la cámara de combustión. Este ciclo normalmente es utilizado en turbinas que trabajan con bajas presiones.

Las turbinas de gas con altas presiones de trabajo pueden utilizar un intercooler para enfriar el aire entre las etapas de compresión, permitiendo quemar más combustible y generar más potencia. El factor limitante para la cantidad de combustible utilizado es la temperatura de los gases calientes creados por la combustión, debido a que existen restricciones a las temperaturas que pueden soportar los alabes de la turbina y otras partes de la misma. Con los avances en la Ingeniería de los materiales, estos límites siempre van aumentando. Una turbina de este tipo es la General Electric LM1600 versión marina.

### A3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA TURBINA DE GAS.

El diseño de turbina predominante hoy en día se ha llegado después de una larga evolución desarrollada, principalmente, a lo largo del siglo XX. Actualmente, el diseño de turbina de gas está basado en un compresor axial multietapa, una cámara de combustión interna y una turbina de expansión, todo ello construido de una forma bastante compacta que da idea de un equipo unitario.

La primera referencia al fenómeno en que se basa la turbina hay que buscarla en el año 150 A.C de manos del filósofo egipcio Hero, que ideó un pequeño juguete llamado Eolipila, que giraba a partir del vapor generado en una pequeña caldera.



Figura A2. Eolipila de Heron.

La primera turbina de gas realmente construida fue concebida por J.F. Stolze en 1872 a partir de una patente de Fernlhoughs, y construida realmente entre 1900 y 1904. Constaba de un compresor axial multi-etapa, un intercambiador de calor que precalentaba el aire antes de entrar en la cámara de combustión, utilizando los gases de escape de la turbina para este fin, y una turbina de expansión multi-etapa.

A pesar de lo genial del diseño, el poco éxito fue debido al bajo rendimiento tanto del compresor como de la turbina, por las bajas relaciones de compresión y la baja temperatura máxima alcanzada en función de los materiales disponibles en la época.

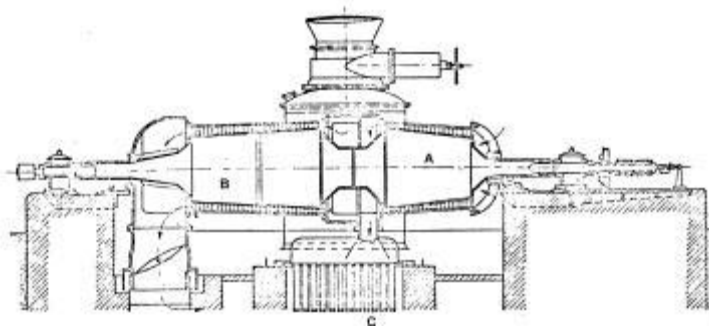


Figura A3. Turbina diseñada por Stolz en 1872.

- (A) Compresor axial multi-etapa;
- (B) Turbina de reacción multi-etapa;
- (C) Precalentador de aire de admisión con los gases de escape.

La relación de compresión era sin duda uno de los retos a superar para el desarrollo de las turbinas, pues mientras no se consiguieran compresores eficaces era imposible desarrollar turbinas con rendimientos que permitieran su desarrollo. Los primeros turbocompresores axiales de rendimiento aceptable aparecen en 1926, A. A. Griffith establece los principios básicos de su teoría del perfil aerodinámico para el diseño de compresores y turbinas, y es a partir de aquí cuando se emprende el desarrollo de los compresores axiales. La teoría del perfil aerodinámico expuesta por Griffith es sin duda un importante hito en el desarrollo de las turbinas de gas tal y como las conocemos hoy en día, y gracias a los conocimientos desarrollados por Griffith se consiguió desarrollar compresores y turbinas de alto rendimiento.

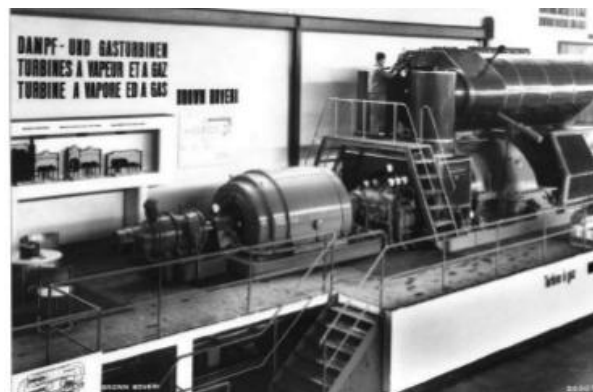


Figura A4. Primera turbina de gas industrial para generación eléctrica, 1939.  
Su potencia era de 4 MW. Cortesía de ASEA Brown Boveri AG.

Hasta 1937 todos los desarrollos de turbinas de gas tenían una finalidad industrial, y no conseguían competir con los motores alternativos a pistón, debido siempre a su bajo rendimiento máximo (20%). Pero sus características de bajo peso y pequeño volumen hicieron que un poco antes del inicio de la segunda guerra

mundial comenzara el desarrollo de turbinas para uso aeronáutico. Así, Whittle en Gran Bretaña en 1930 concibió y patentó el uso de un reactor como medio de propulsión. Alemania, por su parte, también desarrolló en paralelo su primer motor a reacción para aviación. En 1939 Heinkel hizo volar el primer avión utilizando un motor a reacción de gas. No obstante, con las mayores velocidades alcanzables aparecieron nuevos problemas aerodinámicos que tuvieron que ir solucionándose. Hasta el final de la guerra (1944-1945) no se consiguió que un avión propulsado consiguiera volar de forma eficiente.



Figura A5. HE 178 de Heinkel.

Este uso masivo del motor de reacción unido a los nuevos conocimientos de aerodinámica permitió el desarrollo de turbomáquinas con alto rendimiento. De esta forma, a partir de los años 60 el uso del reactor se generalizó y en la década de los 70 prácticamente toda la aviación de gran potencia era impulsada por turbinas.

El desarrollo de la turbina de gas ha tenido históricamente, pues, tres obstáculos que han dificultado y ralentizado su desarrollo:

- La relación de compresión del compresor y su rendimiento.
- La resistencia de los materiales para poder usar altas temperaturas en la cámara de combustión y en las primeras etapas de la turbina.
- En menor medida, la dificultad para controlar todo el sistema de forma manual.

El desarrollo de la turbina de gas sólo ha sido posible tras desarrollar un compresor axial a partir de la mejora de conceptos aerodinámicos, que han permitido altas relaciones de compresión. El segundo de los pilares ha sido la innovación tecnológica en el campo de los materiales, con el desarrollo de nuevas aleaciones monocristal y recubrimientos cerámicos. Esto, unido a un profundo estudio de la refrigeración interior del alabe ha permitido alcanzar temperaturas muy altas tanto en cámara de combustión como en las primeras ruedas de álabes.

La tercera de las claves ha sido el desarrollo de la informática. El empleo de ordenadores ha permitido por un lado poder simular determinadas condiciones y comportamientos, para así mejorar los diseños. Por otro, ha permitido desarrollar sistemas de control que permiten de forma muy sencilla para el operador arrancar, parar y vigilar los principales parámetros de operación de la máquina minuto a minuto, y además pueden diagnosticar el estado técnico del equipo y predecir futuros fallos.



Figura A6. Interior del compresor de alta presión de una turbina industrial.  
El diseño aerodinámico de los álabes es una de las claves de su excelente rendimiento.

En la década de los 70 se intensificó el uso de turbinas para generación de electricidad. Así, en 1974 se construyó la primera instalación de 50 MW. En España, la primera turbina de gas de gran tamaño (260 MW) se puso en marcha en el año 2002, arrancando la era de las centrales térmicas de ciclo combinado que ya había comenzado hacía tiempo en otros países.

#### A4. PARTES PRINCIPALES DE LA TURBINA DE GAS.

Los principales elementos de la turbina de gas son cinco: la admisión de aire, el compresor, la cámara de combustión, la turbina de expansión y el rotor. A continuación se detallan las principales características de cada uno de estos elementos.

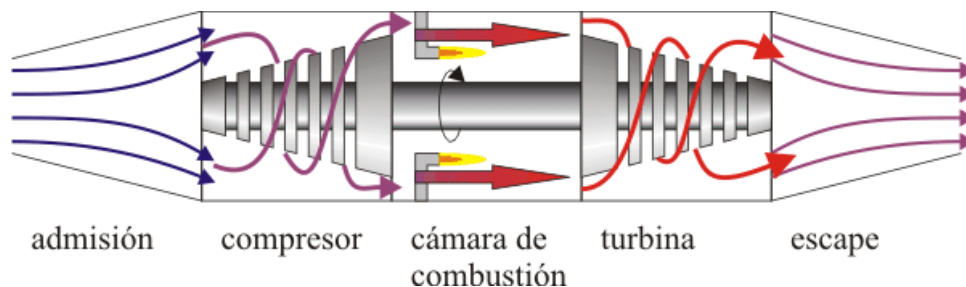


Figura A7. Partes principales turbina de gas.

#### A4.1 Admisión de aire

El sistema de admisión de aire consta de todos los elementos necesarios para que el aire entre en la turbina en las condiciones más adecuadas de presión, temperatura y limpieza. Para ello cuenta con filtros de varios tipos, que se encargarán de eliminar la suciedad que pueda arrastrar el aire; y de una serie de sistemas que acondicionarán la temperatura para facilitar que entre a la turbina la mayor cantidad posible de masa de aire.

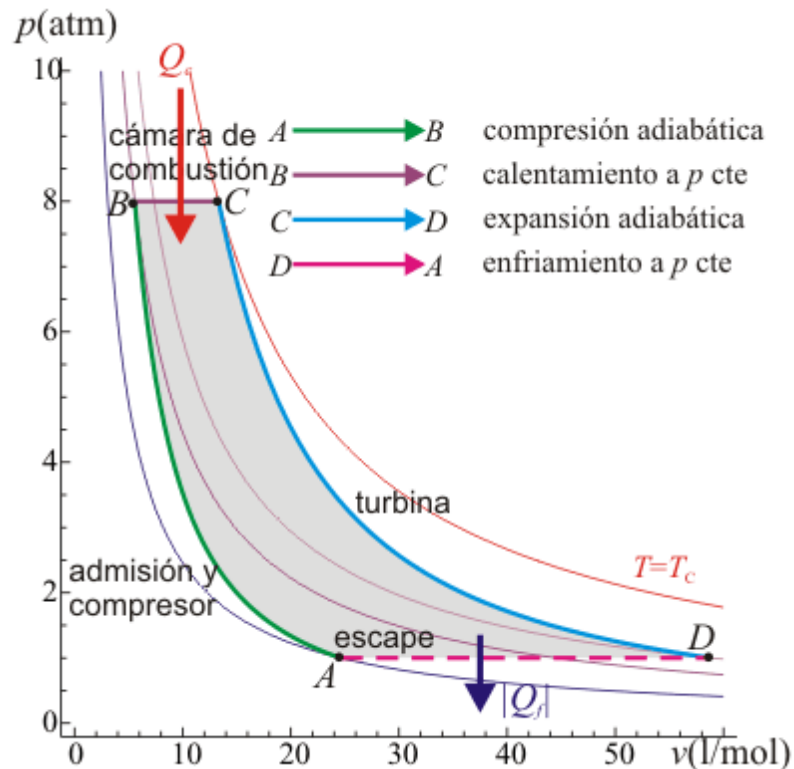


Figura A8. Diagrama P-V del ciclo Brayton.

#### A4.2 Compresor de aire

La función del compresor es elevar la presión del aire de combustión (una vez filtrado) antes que entre en la cámara de combustión, en una relación que varía según la turbina pero que normalmente está comprendida entre 10:1 y 40:1. Esta compresión se realiza en varias etapas y consume aproximadamente las 2/3 partes del trabajo producido por la turbina.

El control de la entrada de aire para la combustión se realiza variando el ángulo de inclinación de las ruedas iniciales de álabes del compresor. A mayor ángulo, mayor cantidad de aire de entrada al compresor, y por tanto, a la turbina. Este método se usa para mejorar el comportamiento a carga parcial de la turbina de gas, como se verá más adelante.

Una parte del aire del compresor se utiliza para refrigeración de álabes y de la cámara de combustión, de forma que aproximadamente un 50% de la masa de aire es usado para este fin.





#### **A4.3 Cámara de combustión**

En ella tiene lugar la combustión a presión constante del gas combustible junto con el aire. Esta combustión a presión obliga a que el combustible sea introducido a un nivel de presión adecuado, que oscila entre 16 y 50 bar.

Debido a las altas temperaturas que pueden alcanzarse en la combustión y para no reducir demasiado la vida útil de los elementos componentes de la cámara, se trabaja con un exceso de aire alto, utilizando del 300 al 400% del aire teórico necesario, con lo que se consigue por un lado reducir la temperatura de llama y por otro refrigerar las partes más calientes de la cámara. Parte del aire que procede del compresor, se dirige directamente hacia las paredes de la cámara de combustión para mantener su temperatura en valores convenientemente bajos. Otra parte se hace circular por el interior de los álabes de la turbina, saliendo por orificios en los bordes que crean una película sobre la superficie de los álabes

#### **A4.4 Turbina de expansión**

En la turbina es donde tiene lugar la conversión de la energía contenida en los gases de combustión, en forma de presión y temperatura elevada (entalpía), a potencia mecánica (en forma de rotación de un eje). Como se ha indicado antes, una parte importante de esta potencia es absorbida directamente por el compresor.

Los gases, que entran a la turbina a una temperatura de 1200-1400°C y una presión de 10 a 30 bar., salen a unos 450-600°C. Esa alta temperatura hace que la energía que contienen pueda ser aprovechada bien para mejorar el rendimiento de la turbina (con un sistema conocido como REGENERACIÓN, que consiste en utilizar estos gases para calentar adicionalmente la mezcla en la cámara de combustión) o bien, como es más habitual, para generar vapor en una caldera de recuperación. Ese vapor posteriormente se introduce en una turbina de vapor consiguiéndose un aumento del rendimiento global igual o incluso superior al 55% (el rendimiento de la turbina de gas es de 30-35%).



## ANEXO 3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO CODAG Y CODOG

### A1. CODAG

El sistema CODAG permite múltiples modos de propulsión al combinar de distintas maneras los diferentes componentes de la planta propulsora.

- Modo emergencia. Un diésel y un eje. Uno de los dos motores diésel mueve una línea de ejes y la otra línea de ejes está bloqueada o gira libre (Figura A9).
- Modo un diésel y dos ejes. Uno de los dos motores diésel mueve las dos líneas de ejes (Figura A10).
- Modo crucero: dos diésel. Cada motor diésel mueve su línea de ejes asociada (Figura A11).
- Modo turbina de gas. La turbina sola mueve las dos líneas de ejes (Figura A12).
- Modo CODAG. Los dos motores diésel y la turbina de gas mueven ambas líneas de ejes. Se obtiene la máxima velocidad (Figura A13).

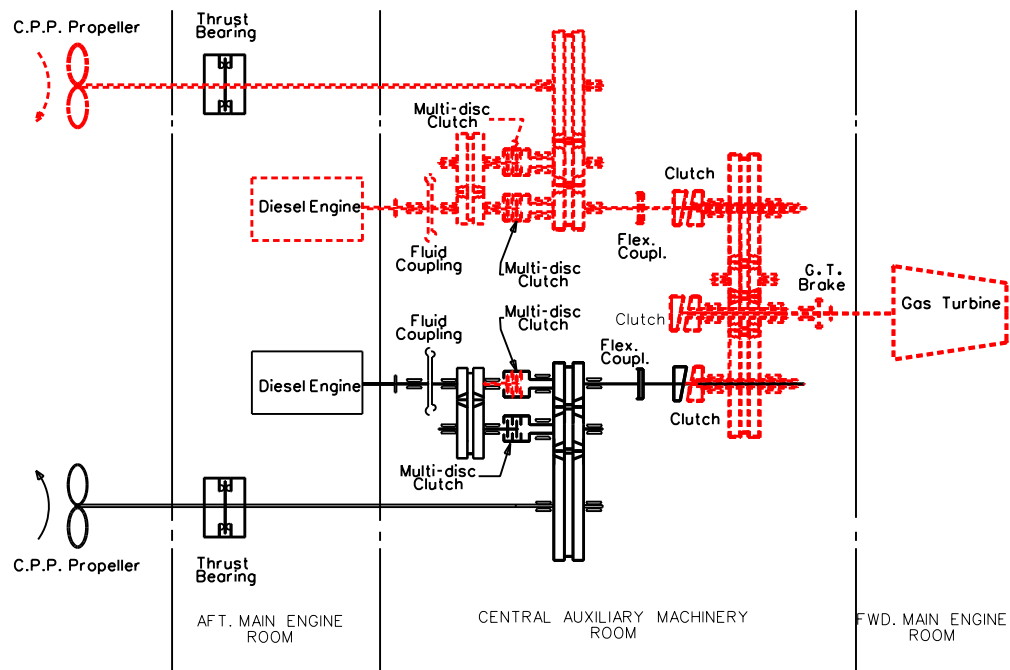


Figura A9. CODAG - Modo emergencia.

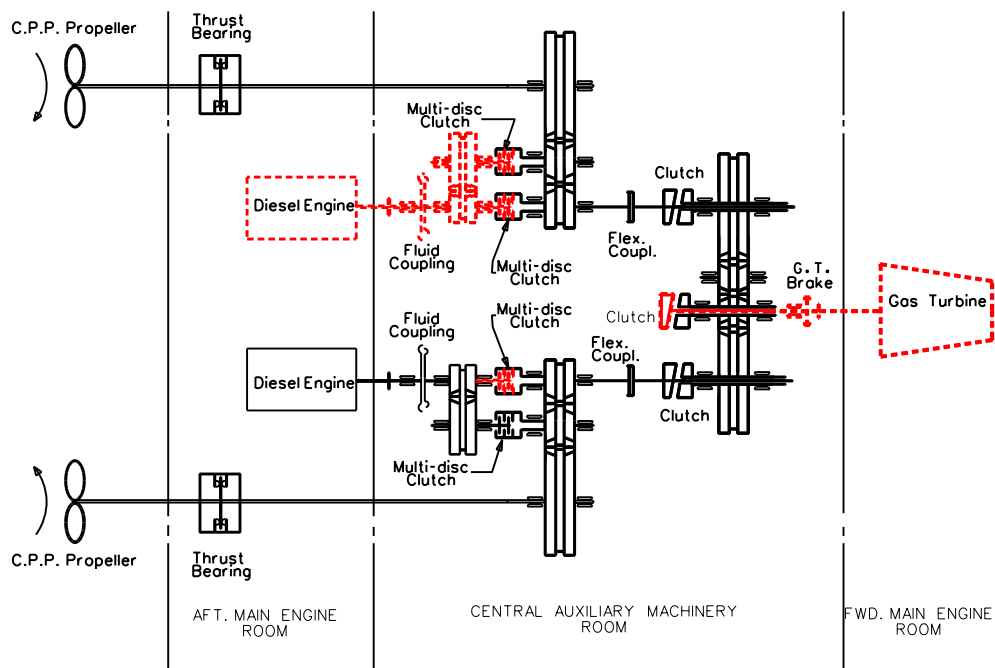


Figura A10. CODAG - Modo un diésel y dos ejes

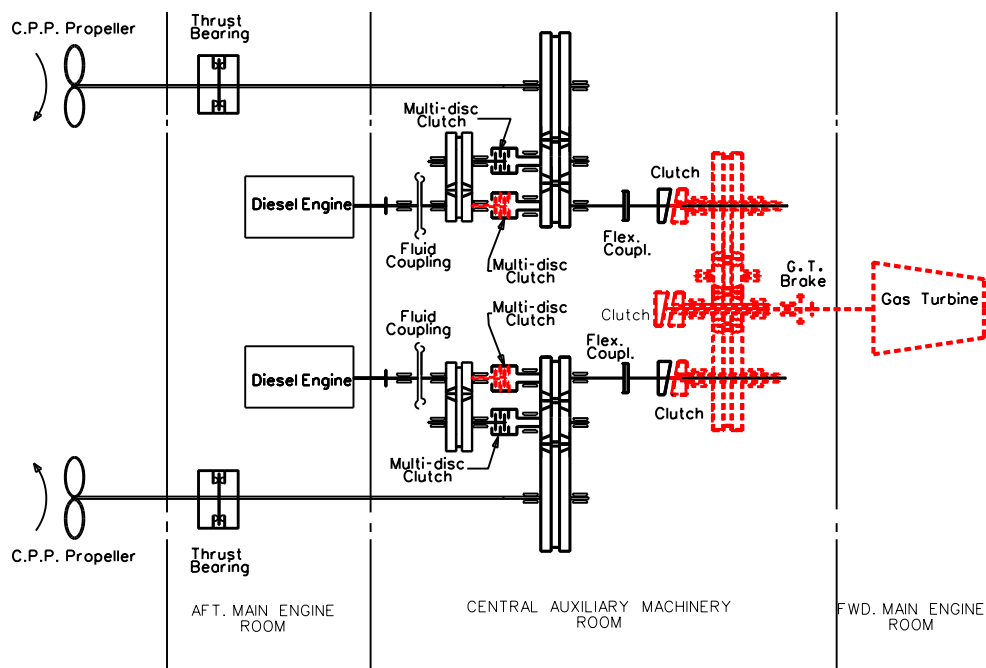


Figura A11. CODAG - Modo crucero.

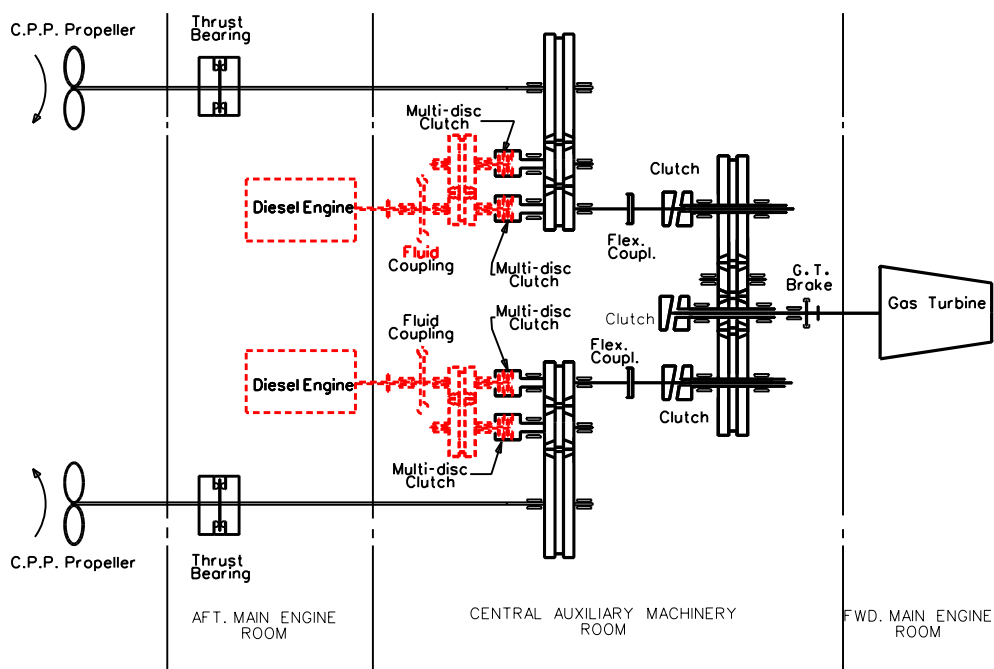


Figura A12. CODAG - Modo turbina de gas.

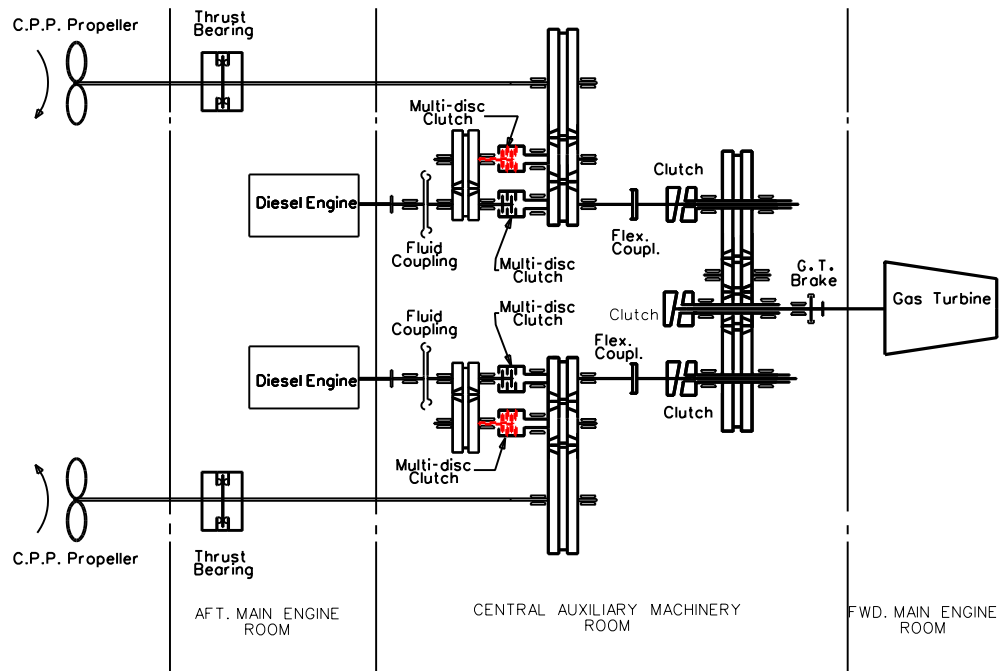


Figura A13. CODAG.

## A2. CODOG

El sistema CODOG permite múltiples modos de propulsión al combinar de distintas maneras los diferentes componentes de la planta propulsora.

- Modo 1 diésel 1 eje. Uno de los dos motores diésel mueve una línea de ejes y la otra línea de ejes está bloqueada o gira libre - modo emergencia (Figura A14).
- Modo 1 diésel 2 ejes (uno de los dos motores diésel mueve las dos líneas de ejes (Figura A15).
- Modo 2 diésel (cada motor diésel mueve su línea de ejes asociada - modo crucero (Figura A16).
- Modo turbina de gas. La turbina sola mueve las dos líneas de ejes - máxima velocidad (Figura A17).

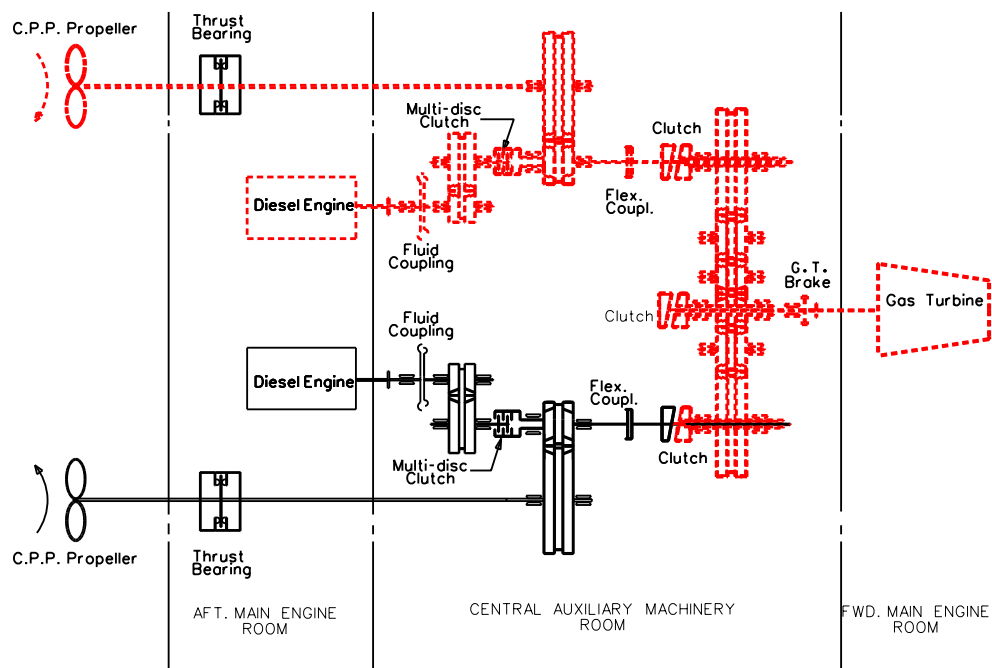


Figura A14. CODOG - Modo emergencia.

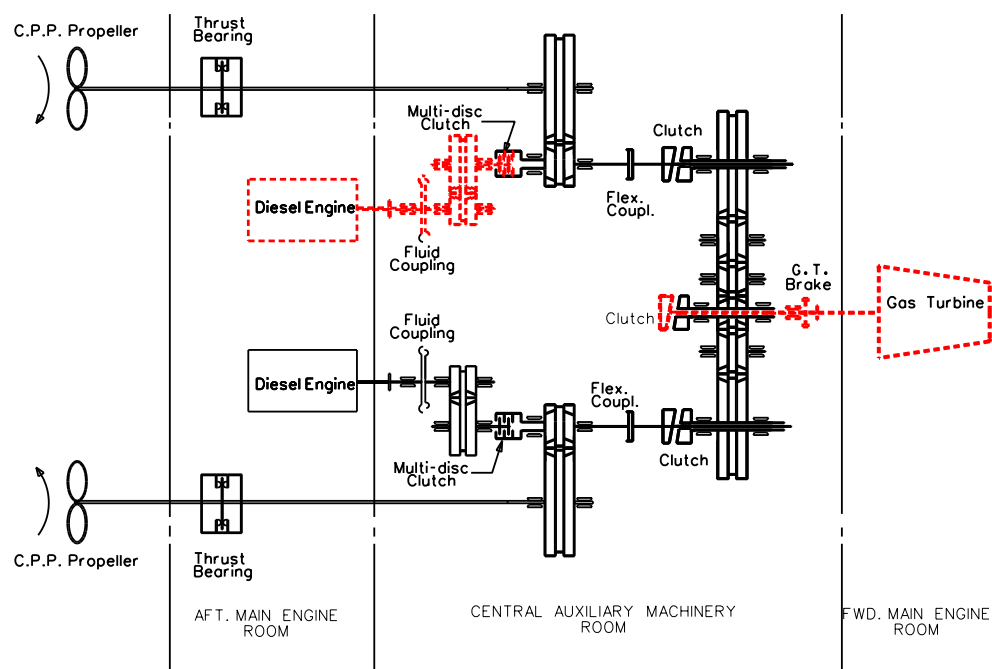


Figura A15. CODOG - Modo un diésel/dos ejes.

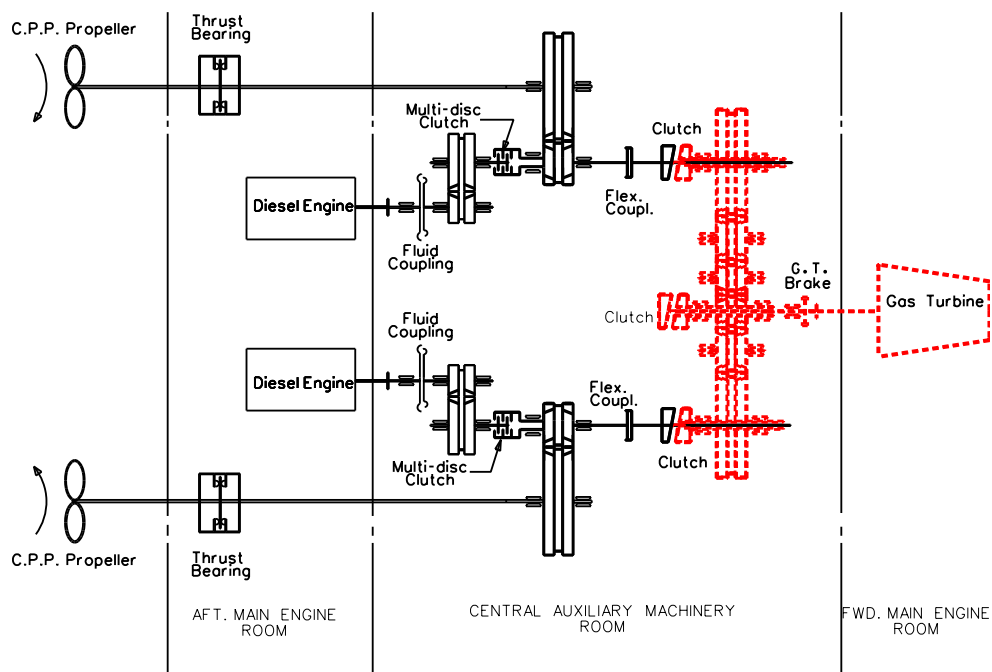


Figura A16. CODOG - Modo crucero.

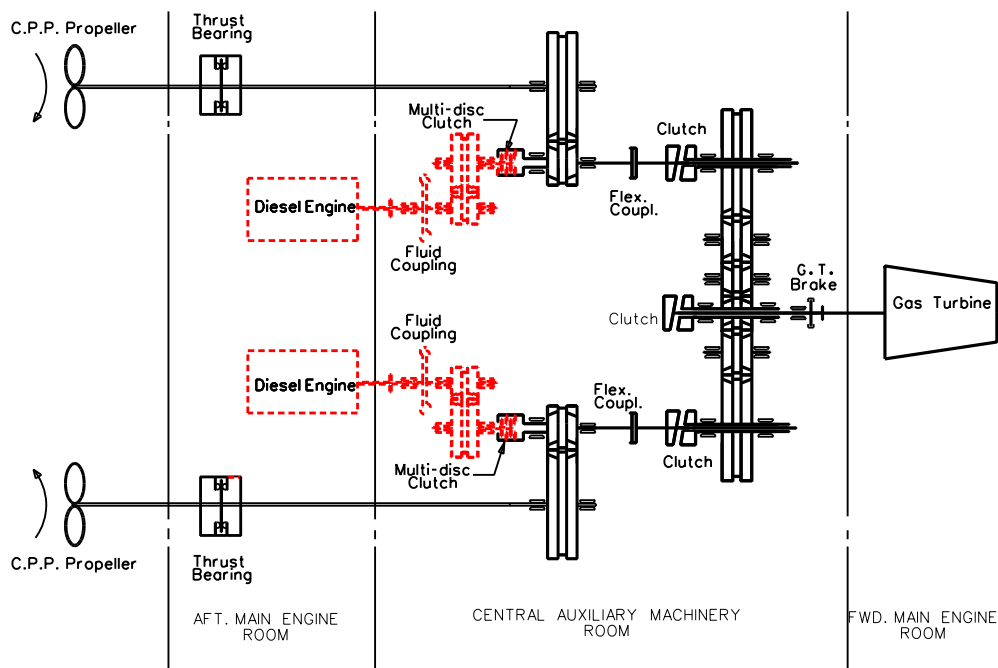


Figura A17. CODOG - Modo turbina de gas.

## Anexo 4. MOTORES MAN



### D2862

#### Engine description

##### Characteristics

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| ■ Cylinders and arrangement: | 12 cylinders in 90° V arrangement   |
| ■ Operation mode:            | 4-stroke diesel engine, watercooled   |
| ■ Turbocharging:             | Turbocharger with charge air intercooler and waste gate<br>(1-stage: D2862 LE 446/426, 2-stage: D2862 LE 456/436) |
| ■ Number of valves:          | 4 valves per cylinder   |

Figura A18. Motores marinos MAN seleccionado. Fuente: MAN CRUISER.



MAN high speed marine diesel engines  
for light, medium and heavy duty application.



Product range

Water-cooled 4-stroke diesel engines for marine propulsion

Motor type Engine Model	Number of cylinders and arrangement	Nominal rating	Engine classification	Rated speed	Maximum torque	Bore/Stroke/Displacement	Length up to flywheel house edge	Width	Height	Average weight of engine ready for installation (dry)	Exhaust-gas status
		kW (mhp)		rpm	Nm	mm/mm/l	mm	mm	mm	kg	
D2866 LXE 40	R 6	190 (258)	•	1 800	1 055	128/155/11.9	1 298	855	1 016	1 020	IMO Tier 2, 97/68/EC, RCD 94/25/EC
D2866 LXE 40	R 6	279 (379)	•	1 800	1 555	128/155/11.9	1 298	855	1 016	1 020	IMO Tier 2, 97/68/EC, RCD 94/25/EC
D2676 LE 434	R 6	324 (440)	•	1 800	1 925	126/166/12.4	1 532	922	1 103	1 215	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 2013/53/EC, 97/68/EC
D2876 LE 407	R 6	360 (490)	•	1 800	2 074	128/166/12.8	1 320	877	1 000	1 160	IMO Tier 2, 97/68/EC, RCD 94/25/EC
D2676 LE 424	R 6	382 (520)	•	1 800	2 270	126/166/12.4	1 532	922	1 103	1 215	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 2013/53/EC, 97/68/EC
D2868 LE 424	V 8	441 (600)	•	1 800	2 630	128/157/16.2	1 243	1 153	1 236	1 800	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
D2868 LE 431	V 8	500 (680)	•	1 800	2 985	128/157/16.2	1 243	1 153	1 236	1 800	IMO Tier 2, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
D2862 LE 434	V 12	551 (749)	•	1 800	3 305	128/157/24.2	1 614	1 270	1 280	2 270	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
D2862 LE 424	V 12	662 (900)	•	1 800	3 950	128/157/24.2	1 614	1 270	1 280	2 270	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
D2862 LE 444	V 12	735 (1000)	•	1800	4 380	128/157/24.2	1 614	1 270	1 280	2 270	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
D2676 LE 435	R 6	412 (560)	•	2 100	2 065	126/166/12.4	1 532	922	1 103	1 215	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 2013/53/EC, 97/68/EC
D2676 LE 425	R 6	478 (650)	•	2 100	2 402	126/166/12.4	1 532	922	1 103	1 215	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 2013/53/EC, 97/68/EC
D2868 LE 425	V 8	588 (800)	•	2 100	2 980	128/157/16.2	1 243	1 153	1 236	1 800	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
D2842 LE 410 EDC	V 12	749 (1019)	•	2 100	3 700	128/142/21.9	1 492	1 227	1 105	1 860	IMO Tier 2, RCD 94/25/EC
D2862 LE 425	V 12	749 (1019)	•	2 100	3 770	128/157/24.2	1 614	1 270	1 280	2 270	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
D2862 LE 435	V 12	882 (1200)	•	2 100	4 450	128/157/24.2	1 614	1 270	1 280	2 270	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
D2862 LE 466	V 12	1029 (1400)	•	2 100	5 180	128/157/24.2	1 614	1 270	1 280	2 270	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
R6-730 D2876 LE 436	R 6	537 (730)	-	2 300	2 450	128/166/12.8	1 356	910	1 097	1 305	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
I6-730 D2676 LE 443	R 6	537 (730)	-	2 300	2 445	126/166/12.4	1 523	922	1 103	1 215	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 2013/53/EC, 97/68/EC
R6-800 D2876 LE 426	R 6	588 (800)	-	2 300	2 700	128/166/12.8	1 356	910	1 097	1 305	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
I6-800 D2676 LE 423	R 6	588 (800)	-	2 300	2 674	126/166/12.4	1 523	922	1 103	1 215	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 2013/53/EC, 97/68/EC
V8-1000 D2868 LE 426	V 8	735 (1000)	-	2 300	3 340	128/157/16.2	1 243	1 153	1 236	1 780	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
V8-1200 D2868 LE 436	V 8	882 (1200)	•	2 300	4 010	128/157/16.2	1 262	1 153	1 222	1 875	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
V12-1400 D2862 LE 446	V 12	1 029 (1 400)	•	2 300	4 680	128/157/24.2	1 614	1 270	1 280	2 270	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
V12-1550 D2862 LE 426	V 12	1 140 (1 550)	-	2 300	5 180	128/157/24.2	1 630	1 153	1 305	2 270	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
V12-1650 D2862 LE 456	V 12	1 213 (1 650)	•	2 300	5 510	128/157/24.2	1 667	1 150	1 350	2 365	IMO Tier 2, EPA Tier 3 commercial, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
V12-1800 D2862 LE 436	V 12	1 324 (1 800)	-	2 300	6 010	128/157/24.2	1 658	1 153	1 265	2 365	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
V12-1900 D2862 LE 476	V 12	1 397 (1 900)	-	2 300	6 220	128/157/24.2	1 658	1 153	1 265	2 365	IMO Tier 2, EPA Tier 3 recreational, RCD 94/25/EC, 97/68/EC
		kW (mhp)		rpm	Nm	mm/mm/l	mm	mm	mm	kg	

Tabla A1. Motores marinos ofertados por MAN. Fuente: MAN CRUISER.



## Anexo 5. COMPARATIVA DE ARTILLERÍA NAVAL TIPO CIWS

ARTILLERIA NAVAL ANTIAEREA 2007 CIWS		Breda 40mm/70 Fast Forty Dardo	Rheinmetall 35 mm GDM008 Millenium Ahead	Signaal Goalkeeper 30mm SGE-30	AK-230 30mm Mod.1	AK-630 30mm Mod.0	CONTRAVES Seaguard 25mm	BAe Mk 38 Md 2 25mm Stabilized Minor Caliber	Raytheon Vulcan Phalanx 20mm Block 0	Raytheon Vulcan Phalanx 20mm Block 1	Raytheon Vulcan Phalanx 20mm Block1B
Origen		Italia	Alemania	Holanda	Rusia		Suiza-It-UK	U.K.	EEUU		
Año		1965	2007	1980	1969	1976		2005	1980	1988	1999
Cañones		2	1	6	2	6	4	1	6	6	6
Peso Neto Montaje ton		6.3	0.8	3.52	1.97	1.85	5.7		5.6	6.12	6.12
Alcance Km	Aviones	4.00	3.50	2.00	5.00	4.00	2.00	2.50	1.50	1.50	1.50
	Misil crucero	1.00	2.00	2.00				1.80	1.00	1.00	1.00
	Sea Skimming		1.50	1.00					0.50	0.50	0.50
Rateo de fuego x min.		900	1000	4200	1050	4500	3200	180	3000	4500	4500
Proyectiles de uso rapido		450 x 2	252	1190	500 x 2	2000 x 6	1660	168	989	1550	N/A
Velocidad	Elevacion	70°/s	70°/s	80°/s	24°/s	50°/s			86°/s	95°/s	115°/s
	Giro	100°/s	120°/s	100°/s	35°/s	70°/s			100°/s	100°/s	115°/s
Elevación	Max	+85°	+85°	+85°	+87°	+88°	+127°		+80°	+80°	+85°
	Min	-13°	-15°	-25°	-12°	-12°	-20°		-10°	-20°	-25°
Horizonte		360°	360°	360°	360°	360°			300°	300°	300°
Vida util Cañon		N/A	N/A	N/A	N/A	8000			N/A	N/A	N/A
Velocida de salida m/s		1012	1440	1021	1050	900	1355	1100	1100	1113	1113
Peso proyectil Kg		0.88	0.75	0.36	0.35	0.39	0.16	0.16	0.1	0.1	0.1
EFICACIA Peso x Dist x Rateo x Velocidad		3.21	3.78	3.09	1.93	6.32	1.39	0.08	0.50	0.75	0.75

Tabla A2. Comparativa de artillería naval tipo CIWS. Fuente: *World Defense (Naval guns)*.



## Anexo 6. PATRULLERO VP-50

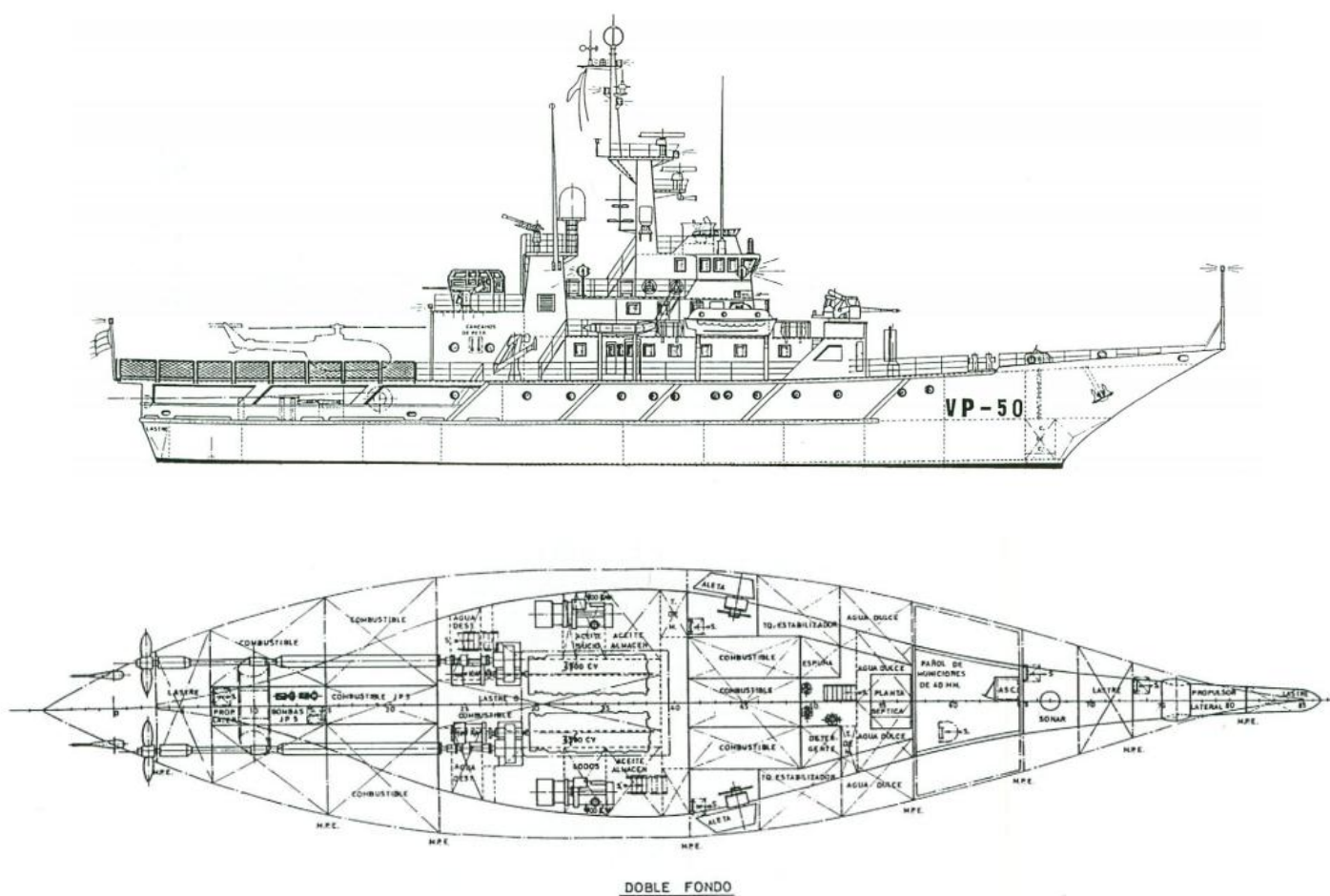


Figura A19. Planos del patrullero VP-50. Fuente: Revista Sector Marítimo Nº 721 (noviembre 1995).



## Anexo 7. FRAGATA F-100 Y F-110

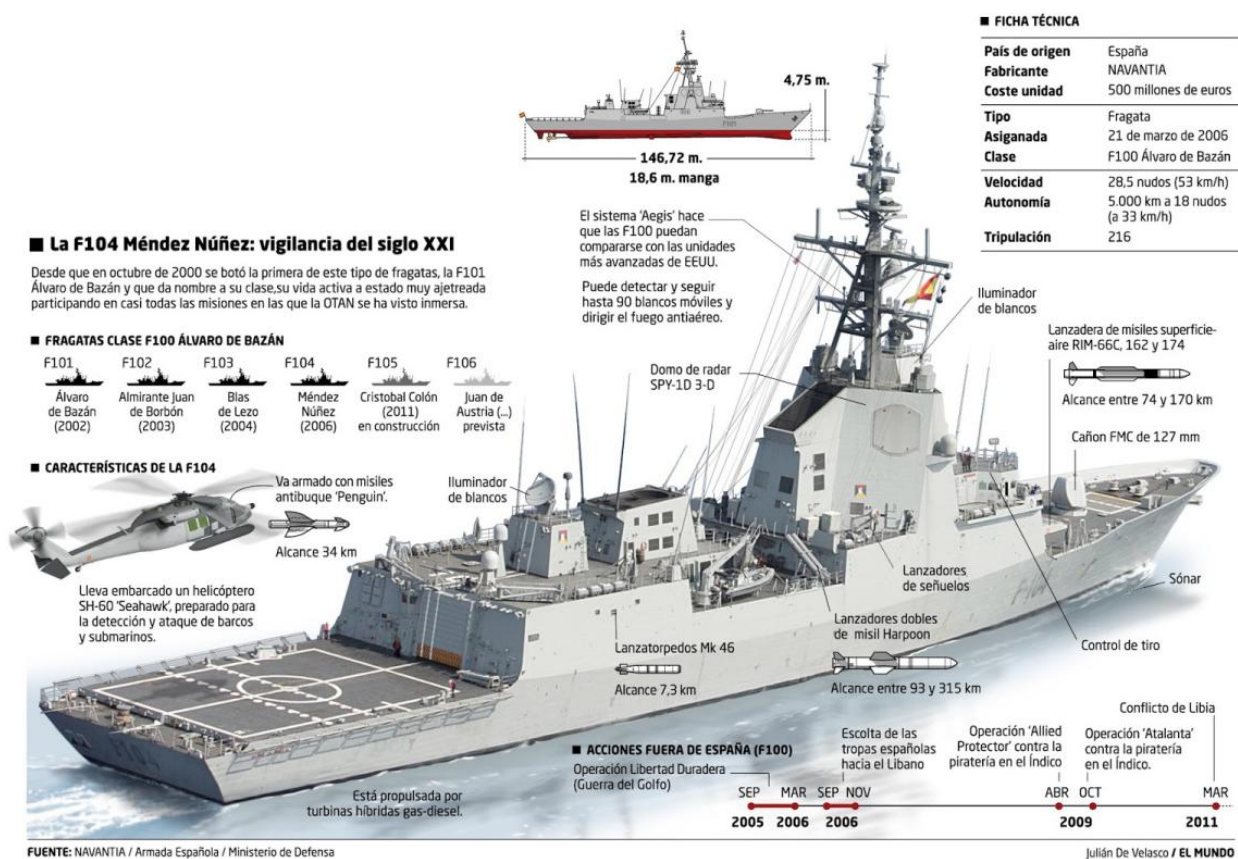
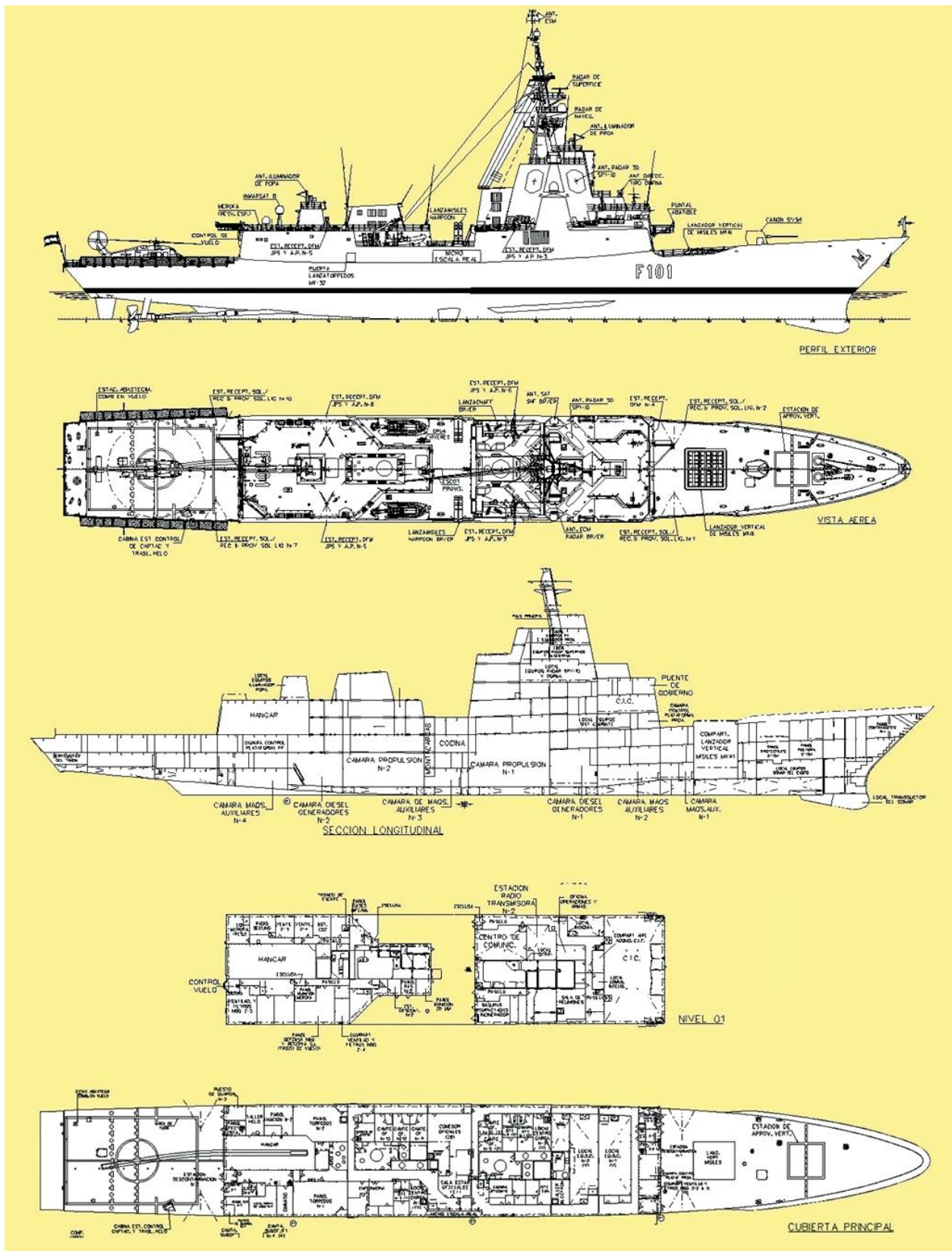


Figura A20. Fragata F-100 con descripción de capacidades y armamento. Fuente: Navantia.





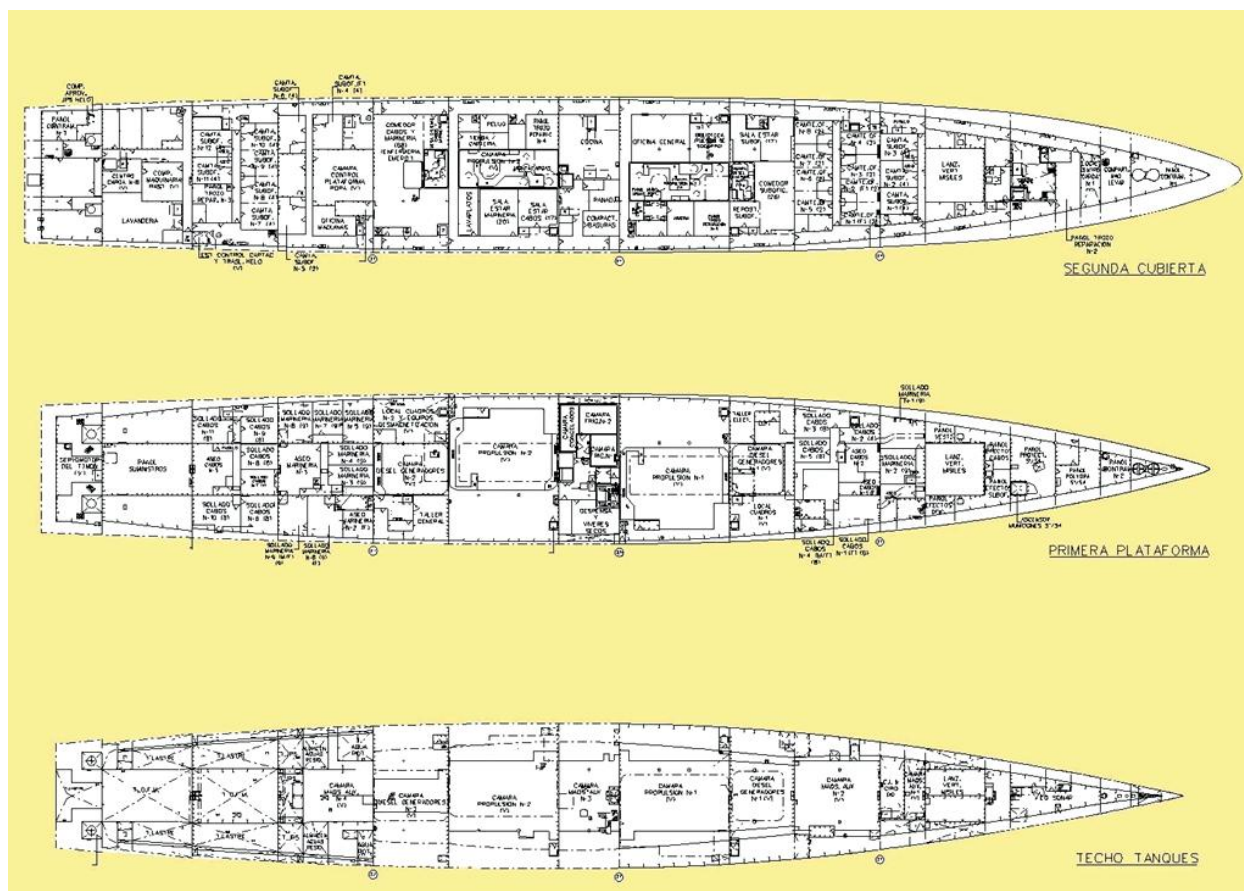


Figura A21. Planos de las diferentes cubiertas de las fragatas F-100. Fuente: Foro3D.

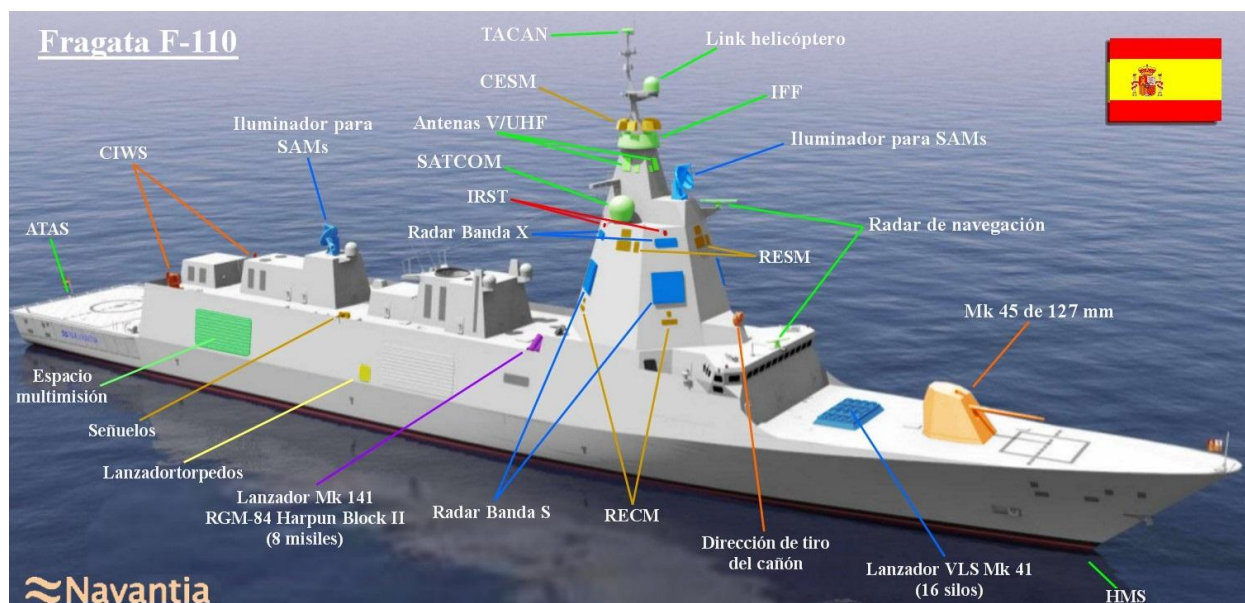


Figura A22. Modelo tridimensional del prototipo de fragata F-110. Fuente: Navantia.



## Anexo 8. VISITA AL SUBMARINO USS BECUNA Y USS OLYMPIA (EE.UU.)

(Filadelfia, 03/08/2019)

El Independence Seaport Museum de Filadelfia se compone de un amplio local en tierra firme y, principalmente, de dos barcos-museos en el muelle sobre el río Delaware: el submarino USS Becuna y el crucero protegido USS Olympia.

### A1. SUBMARINO USS BECUNA

El submarino USS Becuna (SS-319), debe su nombre a una subespecie del pez depredador de la familia de la barracuda. Siguiendo así la tradición del nomenclátor de la US Navy de nombrar a los submarinos con nombre de peces.

Es un ejemplar de los populares y numerosos clase Balao de la II Guerra Mundial, donde precisamente completó 5 patrullas de guerra en el Pacífico y se le acreditó el hundimiento de 3,5 barcos japoneses.

Luego, en 1951 fue sometido al programa de reconversión y pasó a ser de la clase *Guppy 1A*, con sofisticado sistema de radar y equipamiento de torpedos, incluyendo con cabeza nuclear.

En la guerra fría prestó servicios en el Océano Atlántico y en el Mediterráneo, acechando submarinos soviéticos con sus equipos de escucha, terminó sus días de servicio como una nave de entrenamiento y se convirtió en museo en 1996.

Afortunadamente su exterior e interior se encuentra en excelente estado de conservación, no habiéndose sacrificado su equipamiento original por razones de espacio, lo que da testimonio de las condiciones de vida y operaciones abordo de este tipo de barco. Vale la pena recorrer con detenimiento este submarino de la II GM y de la guerra fría.

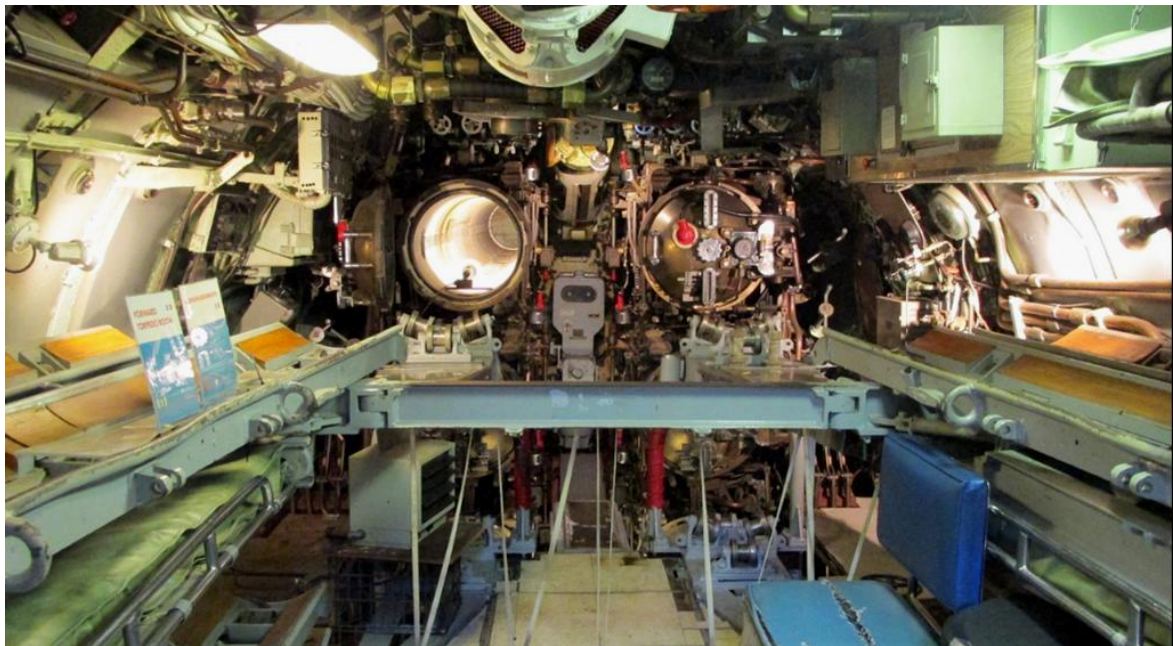


Figura A23. Sala de torpedos del USS Becuna. Fuente: propia.



Figura A24. Sala de maquinas del USS Becuna. Fuente: propia.

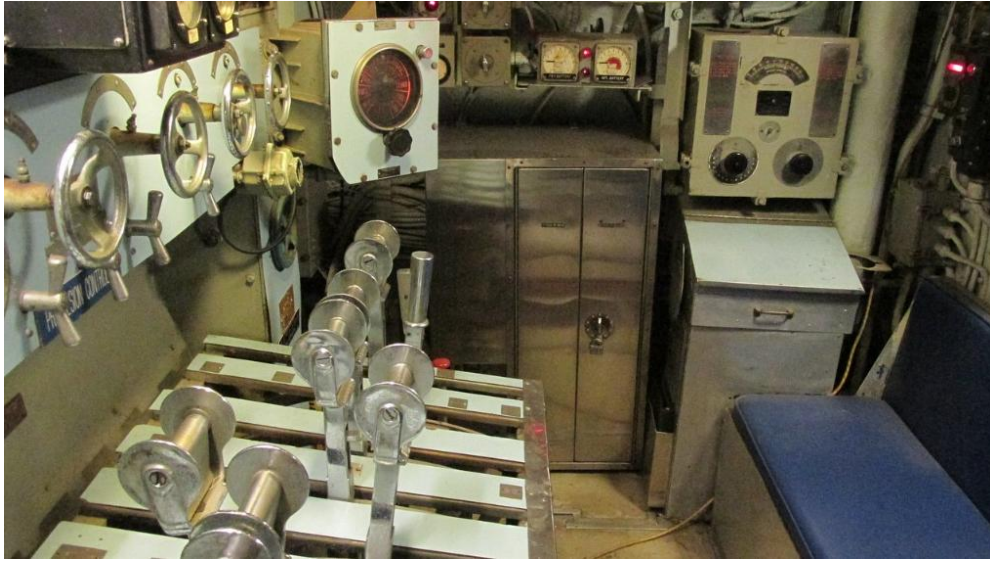


Figura A25. Puente de gobierno del USS Becuna. Fuente: propia.



Figura A26. Cubierta del submarino USS Becuna. Fuente: propia.



## A2. EL CRUCERO PROTEGIDO USS OLYMPIA (C-6)

El crucero protegido USS Olympia (C6), el único en su clase, fue botado en 1892 (San Francisco) y siguiendo el nomenclátor de entonces de la US Navy, de que los cruceros llevaban nombres de ciudades, se le bautizó como la pequeña y hermosísima capital del estado de Washington. Tiene un desplazamiento de 5870 t, con blindaje de 120 mm, 4 cañones de 203 mm y 10 de 127 mm.



Figura A27. USS Olympia. Fuente: Independence Seaport Museum.

Esta nave integra la primera generación de embarcaciones militares de casco de acero con propulsión solo a vapor, que constituirían la American Steel Navy, la cual comenzaba a sustituir a las clásicas pero obsoletas naves con casco de madera y vela, a las fragatas blindadas y monitorizadas. En su estética es característica el casco blanco y la obra muerta color ocre.

Todos ellos de concepción anteriores a la revolución en la ingeniería naval que se produciría en la primer década del siglo XX, sobre todo en los acorazados, con la clase británica Dreadnought (1906) y la norteamericana South Carolina (1908).

Este crucero combatió como buque insignia en la guerra de 1898 en la batalla de Cavite en Filipinas contra la armada española.

Durante la I Guerra Mundial fue también nave capitana de la Fuerza de Patrulla de la Flota del Atlántico y trajo de Francia para su entierro en el Cementerio Nacional de Arlington, el cuerpo del soldado desconocido norteamericano de la Gran Guerra.

En 1922 es retirado del servicio y conservado como monumento. En 1957 se entregó a la asociación Olympia que lo modificó a su aspecto original de 1898. Es un hito y un lugar histórico nacional y objeto protegido como Tesoro nacional.



Figura A28. Alerón del buque USS Olympia junto al submarino USS Becuna. Fuente: Pablo Almuzara.



Figura A29. Memorial al submarino USS TRIGGER (SS-237) caído en la II Guerra Mundial, junto al USS Olympia abarloado al USS Becuna (SS-319). Fuente: propia.



## Anexo 9. VISITA AL PORTAVIONES USS INTREPID (EE.UU.)

(New York, 08/08/2018)



Figura A30. Vista frontal del USS Intrepid. Fuente: propia.



Figura A31. Puente de gobierno del USS Intrepid. Fuente: propia.



Figura A32. Cubierta de aterrizaje y despegue del USS Intrepid. Fuente: propia.



Figura A33. Hangar de torpedos a bordo del USS Growler. Fuente: propia.





Figura A34. Cubierta del submarino USS Growler. Fuente: propia.



Figura A35. Misil de crucero Regulus (con capacidad nuclear) sobre la cubierta del submarino USS Growler. Fuente: propia.

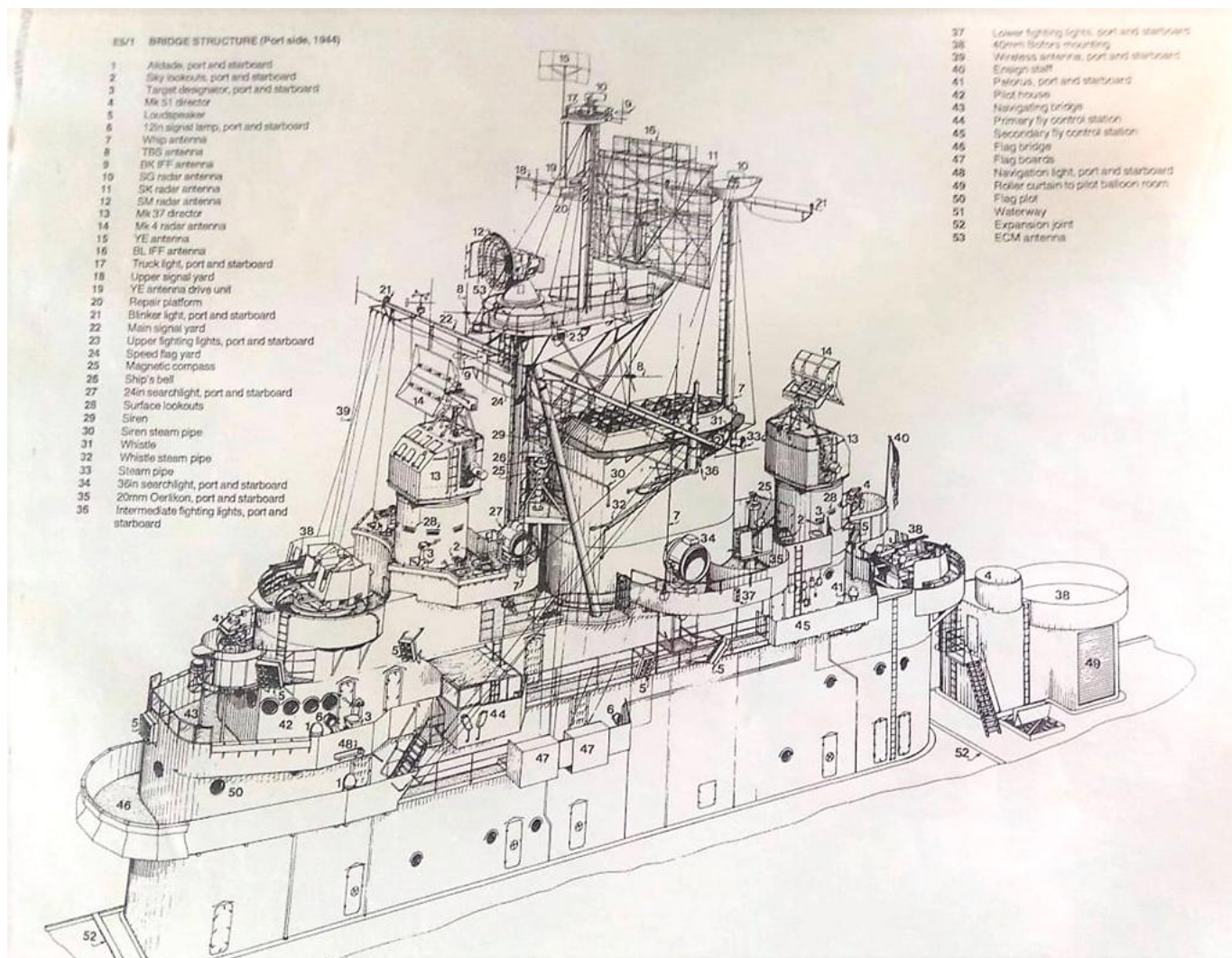


Figura A36. Superestructura del puente del USS Intrepid. Fuente: Intrepid Air & Space Museum.



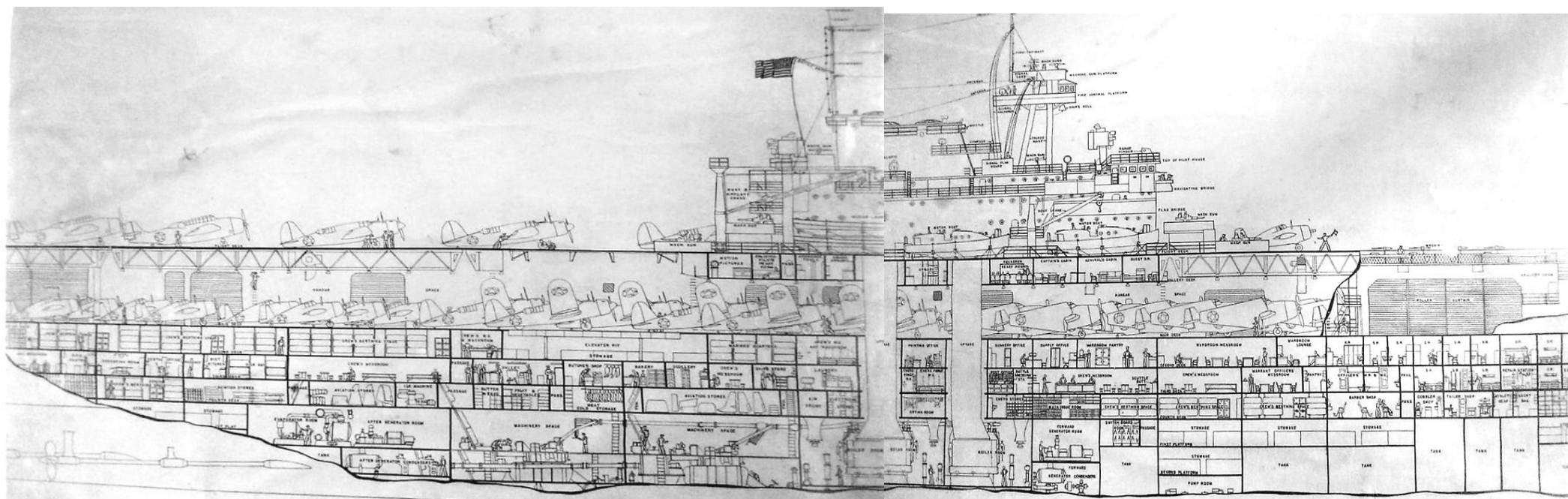


Figura A37. Plano de vista longitudinal del portaviones USS Intrepid, con sus diferentes secciones. Fuente: Intrepid Air & Space Museum.

## **Anexo 10. VISITA AL PATRULLERO INFANTA CRISTINA (P-77)**



(Barcelona, 16/02/2019)

Figura A38. Diferentes perspectivas del patrullero. Fuente: propia.







Figura A39. Equipamiento empleado por el escuadrón de Infantería de Marina a bordo del patrullero. Fuente: propia.





Figura A40. Vista del cañón de proa *Oto Melara* y equipo de amarre. Fuente: propia.

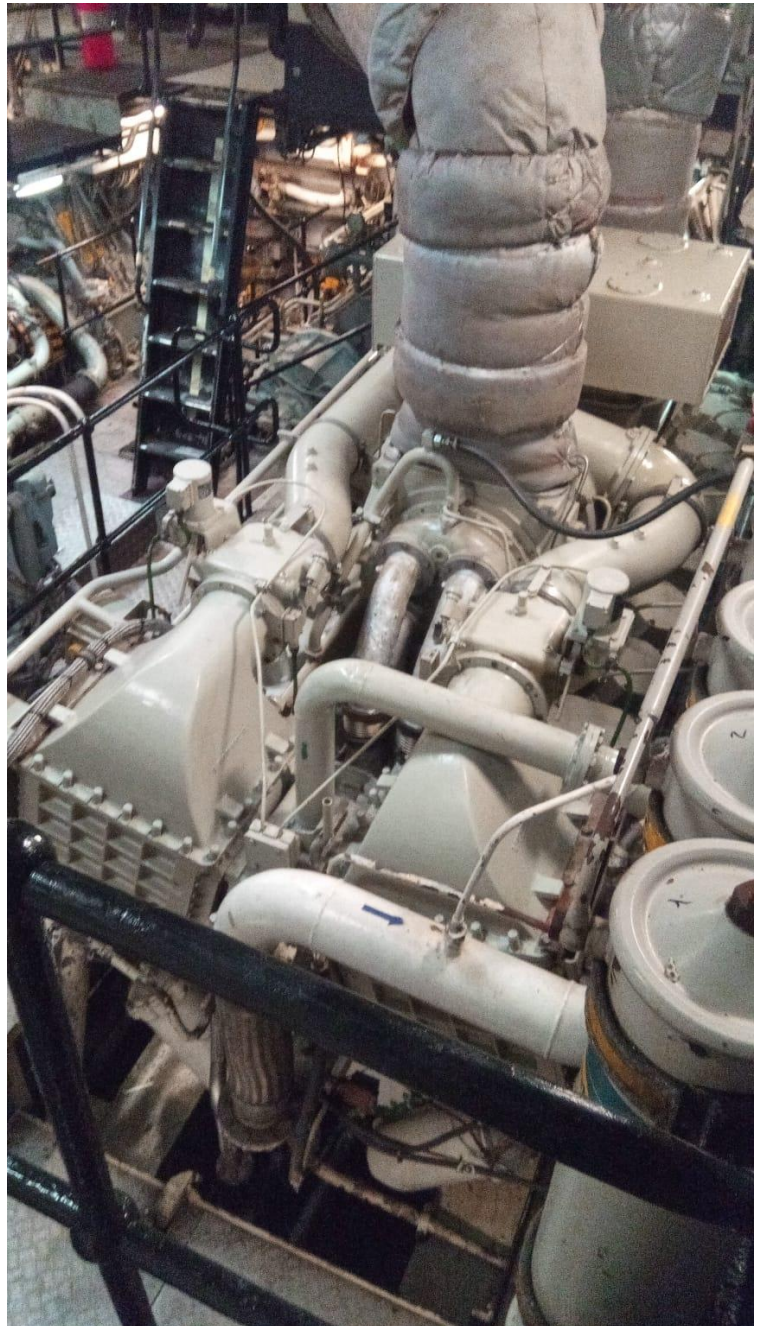


Figura A41. Módulo diésel generador del patrullero Infanta Cristina. Fuente: propia.





## Anexo 11. VISITA FRAGATA NAVARRA

(Barcelona, 12/10/2016)



Figura A42. Popa de la fragata Navarra (F-85). Fuente: propia.



